

VWO

Biologie voor jou

bvij



bvj

4a

vwo

biologie voor jou
LEEROPDRACHTENBOEK



BIOLOGIE VOOR DE BOVENBOUW
vwo

AUTEURS

MARIANNE GOMMERS
DESIRÉE HAGENS
ARTHUR JANSEN
MIRANDA JANSEN
ANDRÉ VAN LEIJEN
HANS RAWEE
THEO DE ROUW

EINDREDACTIE

ILSE GMELIG
LINEKE PIJNAPPELS

MET MEDEWERKING VAN

LIZZY BOS-VAN DER AVOORT
RENATE BROUWERS
DANIËL VAN DRAANEN
PAULA VAN KRANENBURG
CEES MULDER
MARTEN MULDER
RENÉ WESTRA

MAX RELEASE 6.1

MALMBERG 'S-HERTOGENBOSCH
WWW.BIOLOGIEVOORJOU.NL

Voorwoord

Dit boek maakt deel uit van de methode *Biologie voor jou* voor de bovenbouw van het vwo. Met deze methode kun je (met aanwijzingen van je docent) oefenen op je eigen niveau, en je goed voorbereiden op proefwerken en examens. We gebruiken in deze methode ‘docent’, ‘leerling’ en ‘bioloog’ voor beide geslachten.

Biologie voor jou bestaat uit leeropdrachtenboeken, uitwerkingenboeken en een digitale leeromgeving. Je kunt alle onderdelen uit het boek ook daarin doen.

OPBOUW VAN DE THEMA’S

Biologie voor jou is opgedeeld in thema’s. In een thema wordt de leerstof van een bepaald onderwerp uit de biologie behandeld. Alle thema’s in de delen 4, 5 en 6 vwo samen vormen de gehele leerstof voor het biologie-examen vwo. De thema’s bestaan steeds uit dezelfde onderdelen. Deze staan hierna beschreven.

ONTDEKKEN

In deze context kun je de leerstof ontdekken door een maatschappelijke vraag of probleem op te lossen. Zo ontdek je welke rol biologie speelt in het dagelijks leven. Ook maak je alvast kennis met een deel van de leerstof van het thema. Je docent zegt of en wanneer je met ‘Ontdekken’ aan de slag gaat.

BASISSTOF

In de basisstoffen staat in tekst en beeld alle leerstof die je moet kennen. Ook staan er opdrachten in waarmee je de leerstof oefent. Met behulp van het uitwerkingenboek kun je deze opdrachten zelf nakijken. Je kunt de opdrachten ook maken in de digitale leeromgeving. Bij moeilijke opgaven krijg je direct feedback en de gesloten opgaven worden automatisch nagekeken. Je ziet dan meteen het goede antwoord. Aan het einde van sommige basisstoffen staat een verwijzing naar een opgave uit de Biologie Olympiade. Deze kun je herkennen aan het  symbool. Dergelijke opgaven zijn extra uitdagend. De opgaven waarnaar verwezen wordt, staan achter in dit boek.

SAMENHANG

Met de context in de ‘Samenhang’ leer je nog beter verbanden te leggen tussen de leerstof uit de basisstoffen. Je leert om de verschillende organisatieniveaus in de biologie met elkaar te verbinden, van klein naar groot en andersom.

PRACTICA

De practica staan overzichtelijk bij elkaar in een aparte paragraaf. Bij elk practicum is aangegeven bij welke basisstof het practicum hoort. Veelgebruikte biologische technieken staan in aparte kaders zodat je deze gemakkelijk kunt opzoeken.

AFSLUITING

In de samenvatting staat precies omschreven wat je moet kennen en kunnen voor een proefwerk of toets. De samenvatting is opgedeeld in leerdoelen. Deze leerdoelen kun je ook terugvinden in de basisstoffen. Hierdoor kun je opzoeken welke leerstof bij de samenvatting hoort.

ONTDEKKEN

Eerst lachen, dan denken! 8

BASISSTOF

1 Wat is biologie?	10
2 Organen, weefsels en cellen	15
3 Plantaardige en dierlijke cellen	21
4 Celorganellen	26
5 Transport door membranen	34
6 Natuurwetenschappelijk onderzoek	46

SAMENHANG

Expeditie Spitsbergen 54

VERRIJKINGSSTOF

Wandzoekgedrag	
Leven in zout water	

PRACTICA

56

AFSLUITING

Samenvatting	64
Flitskaarten	
Oefentoets	

Examentrainer 68

▲ Opbouw van thema 1

EXAMENTRAINER

Je kunt het thema afsluiten met de 'Examentrainer'. De examentrainer helpt je niet alleen bij de voorbereiding op het examen, maar brengt ook verband aan tussen de verschillende thema's. Zo leer je de samenhang tussen begrippen en processen beter te zien.

EXTRA IN DIGITALE LEEROMGEVING

In de digitale leeromgeving vind je dezelfde onderdelen als in het boek. Daarnaast zijn er verrijkingsstoffen, Test Jezelfs, oefentoetsen, flitskaarten, de Versterk Jezelf en links naar actualiteiten. Deze onderdelen staan hierna beschreven.

VERRIJKINGSSTOF

De verrijkingsstoffen staan alleen online en bevatten extra stof bij het thema. Met de verrijkingsstoffen kun je extra kennis of vaardigheden opdoen, of oefenen op een meer uitdagend niveau.

TEST JEZELF EN OEFENTOETS



Je kunt elke basisstof afsluiten met Test Jezelf. Hierbij krijg je vragen om te testen of je de basisstof voldoende beheerst. Maak je een vraag fout, dan krijg je een herkansing. Haal je de score van 100%, dan weet je dat je de basisstof beheerst.



Met de Oefentoets kun je ook met een heel thema oefenen. Je kunt de Oefentoets zo vaak doen als je wilt.

FLITSKAARTEN



Met de flitskaarten kun je biologische begrippen leren op een leuke en interactieve manier. Hiermee kun je gemakkelijker een thema leren voor je proefwerk of examen.

VERSTERK JEZELF



De Versterk Jezelf helpt je om onderwerpen die je nog niet goed beheerst, te oefenen. Als je veel opgaven bij een bepaald onderwerp niet goed maakt, verschijnt er een uitnodiging op je scherm om de bijbehorende Versterk Jezelf te maken. Je kunt de Versterk Jezelf ook op een ander moment doen.

ACTUALITEIT



De knop 'Actualiteit' stuurt je door naar biologiefilmpjes.nl. Hier vind je filmpjes over biologie in de actualiteit.

TOELICHTING BIJ CONTEXTEN

In dit boek staan veel contexten. Contexten verbinden de leerstof. Ook kun je met contexten ontdekken welke rol biologie speelt in het dagelijks leven, in beroepen en in de wetenschap. Bij contexten staan opdrachten die je helpen om de leerstof toe te passen in een nieuwe omgeving. Dit is een goede voorbereiding op het examen. Sommige contexten staan in een opvallend oranje kader. Maar je zult ook zien dat veel opdrachten kleine contexten bevatten. In de contexten staat nooit nieuwe leerstof die je moet kennen voor het examen. Je hoeft contexten dus niet uit je hoofd te leren.

We wensen je veel plezier bij het werken met dit deel van *Biologie voor jou* en veel succes bij de voorbereiding op je examen.

De auteurs

Inhoud

THEMA 1

Inleiding in de biologie

ONTDEKKEN

Eerst lachen, dan denken!	8
---------------------------	---

BASISSTOF

1 Wat is biologie?	10
2 Organen, weefsels en cellen	15
3 Plantaardige en dierlijke cellen	21
4 Celorganellen	26
5 Transport door membranen	34
6 Natuurwetenschappelijk onderzoek	46

SAMENHANG

Expeditie Spitsbergen	54
-----------------------	----

VERRIJKINGSSTOF

Wandzoekgedrag	
Leven in zout water	

PRACTICA	56
----------	----

AFSLUITING

Samenvatting	64
Flitskaarten	
Oefentoets	
Examentrainer	68

THEMA 2

Voortplanting

ONTDEKKEN

Een kwestie van leven en dood	72
-------------------------------	----

BASISSTOF

1 Ongeslachtelijke voortplanting	74
2 Geslachtelijke voortplanting	81
3 Hormonen	87
4 Zwanger	92
5 Seksualiteit	100
6 Soa's en geboorteregeling	106
7 Ongewenst kinderloos	111

SAMENHANG

Waarom hebben we eigenlijk seks?	114
----------------------------------	-----

VERRIJKINGSSTOF

Embryonale ontwikkeling bij gewervelde dieren	
---	---

PRACTICA	116
----------	-----

AFSLUITING

Samenvatting	118
Flitskaarten	
Oefentoets	
Examentrainer	122

THEMA 3

Genetica**ONTDEKKEN**

Een gouden missie 126

BASISSTOF

- | | | |
|---|---------------------------------|-----|
| 1 | Fenotype en genotype | 128 |
| 2 | Genenparen | 133 |
| 3 | Monohybride kruisingen | 140 |
| 4 | Geslachtschromosomen | 149 |
| 5 | Dihybride kruisingen | 155 |
| 6 | Speciale manieren van overerven | 162 |
| 7 | Opvoeding of aanleg | 166 |

SAMENHANG

Hoogtebestendige Tibetanen 170

VERRIJKINGSSTOF

Erfelijkheid in je familie 
Bio-informaticus 

PRACTICA 172

AFSLUITING

Samenvatting 174
Flitskaarten 
Oefentoets 

Examentrainer 178
Versterk jezelf 

BIOLOGIE OLYMPIADE OPDRACHTEN  180

REGISTER 184

COLOFON 187

1

Inleiding in de biologie

In dit eerste thema krijg je een inleiding over wat je van biologie kunt verwachten. Je krijgt voorbeelden van de rol die biologie speelt in het dagelijkse leven. In de biologie bestudeer je organismen op verschillende niveaus. De cellen waaruit organismen bestaan, ga je met een microscoop bekijken en daarna tekenen. Je leert over de bouw en functie van celorganellen en je bestudeert hoe cellen stoffen kunnen uitwisselen met hun omgeving. Ook leer je om zelf een natuurwetenschappelijk onderzoek uit te voeren en daarvan een verslag te maken.

ONTDEKKEN

Eerst lachen, dan denken! 8

BASISSTOF

- | | |
|------------------------------------|----|
| 1 Wat is biologie? | 10 |
| 2 Organen, weefsels en cellen | 15 |
| 3 Plantaardige en dierlijke cellen | 21 |
| 4 Celorganellen | 26 |
| 5 Transport door membranen | 34 |
| 6 Natuurwetenschappelijk onderzoek | 46 |

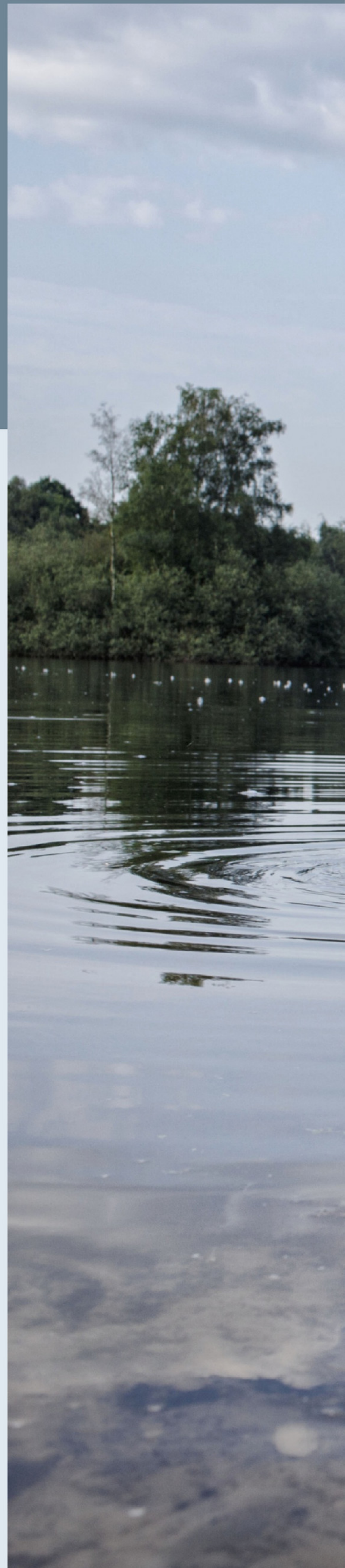
SAMENHANG

Expeditie Spitsbergen 54

PRACTICA 56

SAMENVATTING 64

EXAMENTRAINER 68







Ig Nobelprijswinnaar David Hu ontvangt in 2015 zijn prijs.

Eerst lachen, dan denken!

►► BASISSTOF 6

Ieder jaar, één week voor de bekendmaking van de echte Nobelprijs worden de Ig Nobelprijzen uitgereikt. Ig komt van Ignoble dat eerloos of onnozel betekent. De prijs is een parodie op de Nobelprijs.

De chaotische en vrolijke ceremonie van de Ig Nobelprijzen vindt ieder jaar plaats op de universiteit van Harvard. Echte Nobelprijswinnaars reiken de prijzen uit en de winnaars krijgen één minuut om hun onderzoek toe te lichten. Als ze over die minuut heen gaan, valt een opdringerig 8-jarig meisje in de rede met de woorden: ‘stop alstublieft, ik verveel me.’

Regelmatig winnen Nederlanders de Ig Nobelprijs, zoals Andre Geim. Hij is de enige wetenschapper die tot nu toe zowel de Ig Nobelprijs als de echte Nobelprijs voor natuurkunde won. De Ig Nobelprijs won hij door een levende kikker in een magneetveld te laten zweven.

Bij de ‘echte’ Nobelprijs zijn verschillende vaste categorieën: de Nobelprijs voor geneeskunde, scheikunde, natuurkunde, literatuur, economie en vrede. Ook bij de Ig Nobelprijs zijn verschillende categorieën, maar deze verschillen ieder jaar.

In 2015 ontving David Hu de Ig Nobelprijs voor Natuurkunde met ‘de wet van urineren.’ Uit het onderzoek bleek dat bijna

alle zoogdieren, of het nou om een konijn of een olifant gaat, ongeveer 21 seconden doen over een plas.

In 2006 werden Bart Knols en Ruurd de Jong opgenomen in het bijzondere gezelschap van de prijswinnaars. Zijn ze eigenlijk blij met deze prijs? In *Resource*, een magazine voor studenten en docenten van Wageningen UR (2006) zegt Bart Knols hierover: ‘Om eerlijk te zijn wist ik niet eens dat hij bestond. Toen ik van de toekenning hoorde heb ik me er in verdiept en ik vind het een prachtige prijs, waar ik heel trots op ben.’ Het is vooral het achterliggende idee ‘wetenschap die je eerst laat lachen en daarna doet nadenken,’ dat Knols aanspreekt. ‘Dat haringen via scheten communiceren is natuurlijk lachwekkend, maar ook reuze-interessant. Hoe meer ik over de prijs las, hoe verbaasder ik was dat we hem niet eerder hebben gekregen.’

De prijzen lijken naar de meest nutteloze onderzoeken van het jaar te gaan. Maar dat is niet het geval! Doordat de winnende onderzoeken grappig en laagdrempelig zijn, raken meer mensen geïnteresseerd in het onderzoeksonderwerp en wetenschap in het algemeen.

▼ **Afb. 1** Het publiek gooit bij de Ig Nobelprijsceremonie regelmatig zelfgemaakte papieren vliegtuigjes naar het podium.



Kaas, zweet en malariamuggen

Malariaonderzoeker Bart Knols weet het als geen ander: de geur van zweetvoeten en Limburgse kaas is hardnekkig. Toen hij in 1996 bekendmaakte dat je daarmee uitstekend malariamuggen kunt lokken, was hij een week lang het slachtoffer van een zwerm persmusketen.

‘Limburgse kaas als malariamuggenval’

Tien jaar later krijgen Knols en De Jong de Ig Nobelprijs voor het aantonen dat vrouwelijke malariamuggen even sterk door de lucht van zweetvoeten als door de lucht van Limburgse kaas worden aangetrokken.

Knols verontschuldigde zich tegenover zijn vrouw omdat hij haar tijdens het onderzoek als proefpersoon naakt liet steken door muggen.

Naar: Knols en zijn tenenkaas/Lachen mag, *Resource*, Universiteit Wageningen, 5 oktober 2006.

▼ **Afb. 2** Bart Knols.



opdrachten

- 1 Jij bent een wetenschapsjournalist en maakt deel uit van de redactie van *Resource*. Jullie schrijven een artikel over het onderzoek van Knols en De Jong.
 - a In tweetallen beginnen jullie eerst met een vooronderzoek naar de ziekte malaria. Je kunt je afvragen:
 - Wat is malaria?
 - Waar komt het voor?
 - Hoe wordt malaria overgebracht?
 - Welke behandelingen zijn er als je de ziekte oploopt?
 - b Hoe kwamen de onderzoekers op het idee om dit te gaan onderzoeken? Welke onderzoeksvraag hadden de onderzoekers voor dit malariamug-onderzoek? Wat zou hun hypothese geweest kunnen zijn? Hoe zou het experiment eruit kunnen zien? Beantwoord met je redactiecollega's de vragen en gebruik hierbij een onderzoekstabel (zie afbeelding 64 op bladzijde 50).
 - c Voor het malariamugonderzoek is geld nodig. Om onderzoek gefinancierd te krijgen, is het belangrijk dat het onderzoek maatschappelijk relevant is.

Voor wie zou dit malariaonderzoek relevant kunnen zijn?
 - d Schrijf nu het artikel van maximaal vijfhonderd woorden.
- 2 De redactie gaat zelf een Ig Nobelprijsceremonie organiseren!
 - a Bedenk in viertallen een grappig onderzoek en formuleer de onderzoeksvraag. Jullie kunnen ook een onderzoeksvraag van vorige Ig Nobelprijswinnaars kiezen.
 - b Schrijf daarna een onderzoeksvoorstel. Beschrijf hierin:
 - Waarom willen jullie dit onderzoek doen?
 - Wat hopen jullie er mee te kunnen bewijzen?
 - Wat is de maatschappelijke relevantie?
 - Hoe gaan jullie het onderzoeken?
 - c Presenteer het onderzoeksvoorstel in tweetallen gedurende 60 seconden aan de klas. De presentatie die na afloop de meeste vliegtuigjes heeft ontvangen wint!

Leerdoelen

- Je kunt beschrijven wat biologie is en uitleggen op welke gebieden biologie een rol speelt.
- Je kunt de levenscyclus van dieren beschrijven.
- Je kunt de organisatieniveaus van de biologie benoemen en uitleggen dat op elk hoger organisatieniveau emergente eigenschappen ontstaan.

1 Wat is biologie?

Een kever en een tulp zijn levend, een steen en water niet. Wat is leven nu precies? Hoe omschrijf je wat levende dingen onderscheidt van niet levende dingen?

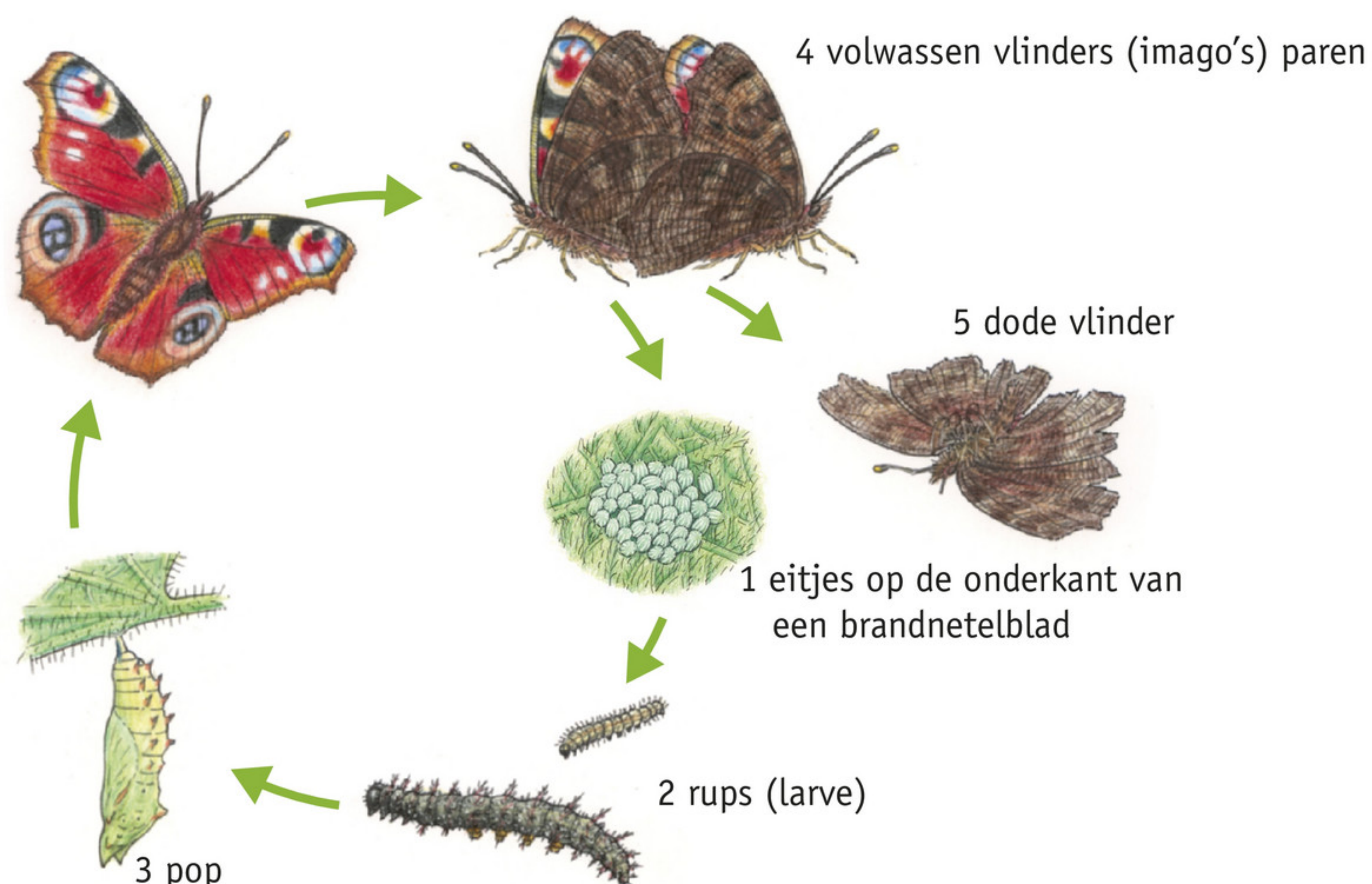
ORGANISMEN

In de biologie bestudeer je **organismen**. Organismen zijn levende wezens zoals planten, dieren, schimmels en bacteriën. Alle levende organismen vertonen **levensverschijnselen**, zoals voortplanten, groeien, ontwikkelen en stofwisseling. Met **stofwisseling** worden alle chemische (scheikundige) reacties in een organisme bedoeld. Bij deze reacties spelen **enzymen** een belangrijke rol. Ze versnellen de chemische reacties van stofwisselingsprocessen. Dit heet **katalyseren**. Als een organisme geen levensverschijnselen meer vertoont, noem je het **dood**. Dingen in de natuur die nooit hebben geleefd, noem je **levenloos**, bijvoorbeeld water, zuurstof, koolstofdioxide en gesteenten.

LEVENS CYCLUS VAN ORGANISMEN

Elk individueel organisme of **individu** heeft een unieke levensloop. De **levensloop** start direct na het ontstaan van het organisme. Vanaf dat moment begint een organisme met groeien en **ontwikkelen**. Wanneer een organisme zich ontwikkelt, treden er veranderingen op in de bouw en het functioneren van het organisme of van bepaalde delen ervan. Je kunt een levensloop verdelen in verschillende fasen of stadia. Dat zijn duidelijk te onderscheiden perioden in het leven van een organisme. De levensloop eindigt met de dood van het individu. Soms gaat een organisme dood en heeft het niet alle fasen van de levensloop doorgemaakt. Individen behoren tot dezelfde **soort** als zij zich onderling kunnen voortplanten en vruchtbare nakomelingen kunnen voortbrengen. Alle individuen van een soort doorlopen tijdens hun levensloop dezelfde fasen. Hoewel de individuen van een soort sterven, blijft de soort voortbestaan. Dit noem je de **levenscyclus** van een soort (zie afbeelding 1). De levenscyclus eindigt alleen als de soort uitsterft.

► **Afb. 1** De fasen van de levenscyclus van de soort dagpauwoog.

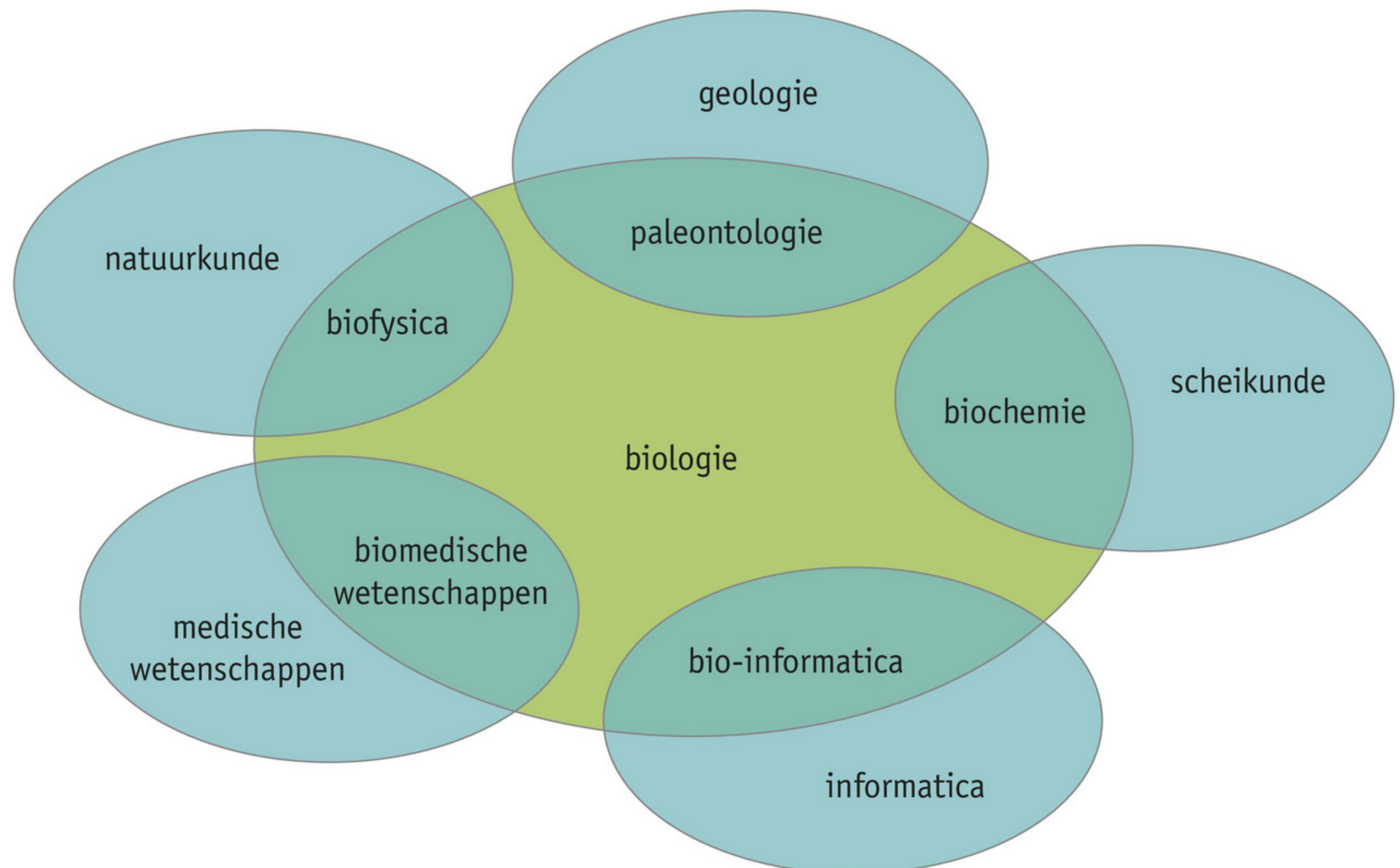


BIOLOGIE EN ANDERE WETENSCHAPPEN

Biologie is een **natuurwetenschap**. In de natuurwetenschappen bestuderen wetenschappers natuurverschijnselen. Andere natuurwetenschappen zijn onder andere scheikunde, natuurkunde en geologie. Tussen biologie en deze natuurwetenschappen bestaan overgangsgebieden, zoals biochemie, biofysica en paleontologie (zie afbeelding 2).

Ook tussen biologie en andere wetenschappen bestaan overgangsgebieden. Bio-informatica bijvoorbeeld is een overgangsgebied tussen biologie en informatica dat steeds belangrijker is voor wetenschappelijk onderzoek. Al deze wetenschappen dragen bij aan de kennis van het leven die we nu hebben.

► **Afb. 2** Overgangsgebieden tussen de biologie en enkele andere natuurwetenschappen.



BIOLOGIE VANDAAG EN MORGEN

De afgelopen eeuwen is het inzicht in de bouw en het functioneren van organismen sterk gegroeid. Vooral in de laatste honderd jaar groeide het aantal natuurwetenschappers en de revolutionaire ontwikkeling van biologische technieken enorm. Bij belangrijke vraagstukken over de toekomst van voeding en voedselzekerheid, gezondheid, duurzame ontwikkeling, energie en veiligheid, is kennis over en inzicht in biologische processen en systemen steeds relevanter.

Onderwerpen die met het vak biologie te maken hebben, kom je overal tegen: in de leefwereld om je heen, in de beroepspraktijk en in wetenschappelijk onderzoek. Een situatie waarin biologie een rol speelt, is een **context** voor het vak biologie. Bijvoorbeeld wanneer kwallen voor problemen zorgen bij een kernreactor. Dat is een voorbeeld van biologie in een context.

opdrachten

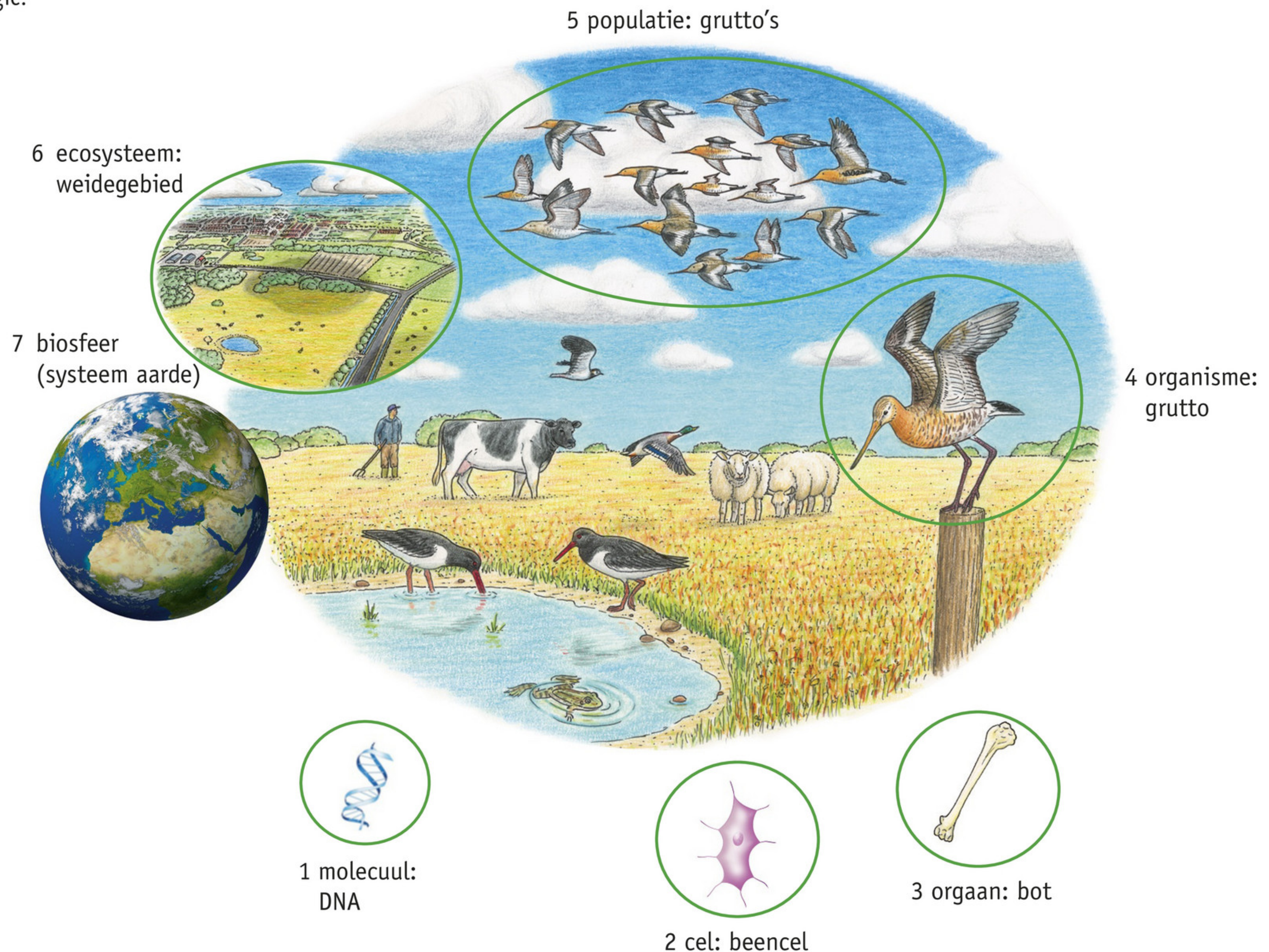
- 1 Leg uit waarom bij een soort sprake is van een levenscyclus, terwijl bij een individu sprake is van een levensloop.
- 2 In afbeelding 1 zie je de levenscyclus van de dagpauwoog.
 - a Tijdens welke fase van de levensloop van een dagpauwoog neemt het lichaamsgewicht het meest toe?
 - b Welke verandering in bouw ondergaat een dagpauwoog tijdens fase 3 van zijn levensloop?
 - c Leg uit dat de dagpauwoog na fase 3 anders gaat functioneren.

- 3 Beschrijf voor drie soorten wetenschappers die onderzoek doen op een overgangsgebied tussen biologie en een andere (natuur)wetenschap, met welke belangrijke vraagstukken ze zich bezighouden. Gebruik hierbij internet.

ORGANISATIENIVEAUS IN DE BIOLOGIE

Organismen zijn georganiseerd in **biologische eenheden** (zie afbeelding 3). De kleinste biologische eenheid is een **molecuul**. Moleculen zijn de bouwstenen van stoffen. Een belangrijk molecuul in organismen is **DNA**. Dit bevat de erfelijke informatie van een organisme.

▼ **Afb. 3** Organisatieniveaus van de biologie.



Een **cel** is een grotere biologische eenheid en een hoger organisatieniveau dan een molecuul. Veel verschillende cellen bij elkaar die samenwerken, vormen een **orgaan**. Een orgaan is een deel van een organisme met een specifieke bouw en functie. Je hart, je oog en je hersenen zijn organen. Nog complexer is een **organisme**. Die kunnen eencellig of meercellig zijn. Een organisme, zoals de grutto, is meercellig. Eenvoudige organismen zoals bacteriën bestaan uit slechts één cel. Organismen behoren tot een **populatie**. Dat is een groep individuen van dezelfde soort die in een bepaald gebied leeft en zich onderling voortplant. Populaties leven in een **ecosysteem**. Dat is een min of meer begrensd gebied met bepaalde eigenschappen. Zowel de levende als de niet-levende natuur in dat gebied maken deel uit van het ecosysteem. Tot de levende natuur in een ecosysteem behoren alle organismen in dit gebied. Tot de niet-levende natuur in een ecosysteem behoren bijvoorbeeld de temperatuur en de hoeveelheid zonlicht. Voorbeelden van ecosystemen zijn een weidegebied, een bos, een sloot of een koraalrif. Het geheel aan ecosystemen op aarde vormt de **biosfeer** of het **systeem aarde**.

Als er op een hoger organisatieniveau een nieuwe eigenschap ontstaat die er op het lagere organisatieniveau niet is, noem je dat een **emergente eigenschap**. ‘Emergent’ is afgeleid van het Engelse werkwoord ‘to emerge’ (tevoorschijn komen). Een cel bestaat bijvoorbeeld uit veel moleculen. Eén enkel molecuul van een cel leeft niet. Maar **interactie** tussen alle moleculen levert wel een levende cel op. Interactie betekent op elkaar reageren. De moleculen van een cel reageren ook op invloeden uit de omgeving. Door interactie van organen zoals spieren, zenuwen, ogen, beenderen, hersenen en bloedvaten verschijnt op het hogere organisatie-niveau organisme de emergente eigenschap ‘lopen’. De genoemde organen kunnen niet zelfstandig lopen.

opdrachten

- 4 Sommige biologen beschouwen het begrip ‘soort’ als een organisatieniveau van de biologie.
Na welk lager organisatieniveau kan het begrip ‘soort’ worden geplaatst?
- 5 De uitstoot van gassen door auto’s is een milieuprobleem dat één van de oorzaken is van het versterkte broeikaseffect.
Op welk organisatieniveau speelt dit milieuprobleem zich af? Leg je antwoord uit.
- 6 In afbeelding 3 worden de organisatieniveaus van de biologie weergegeven.
 - a Op welk organisatieniveau ontstaat de emergente eigenschap ‘kunnen vliegen’?
 - b Op welk organisatieniveau ontstaat het levensverschijnsel ‘voortplanten’ als emergente eigenschap?

CONTEXT

Wetenschap

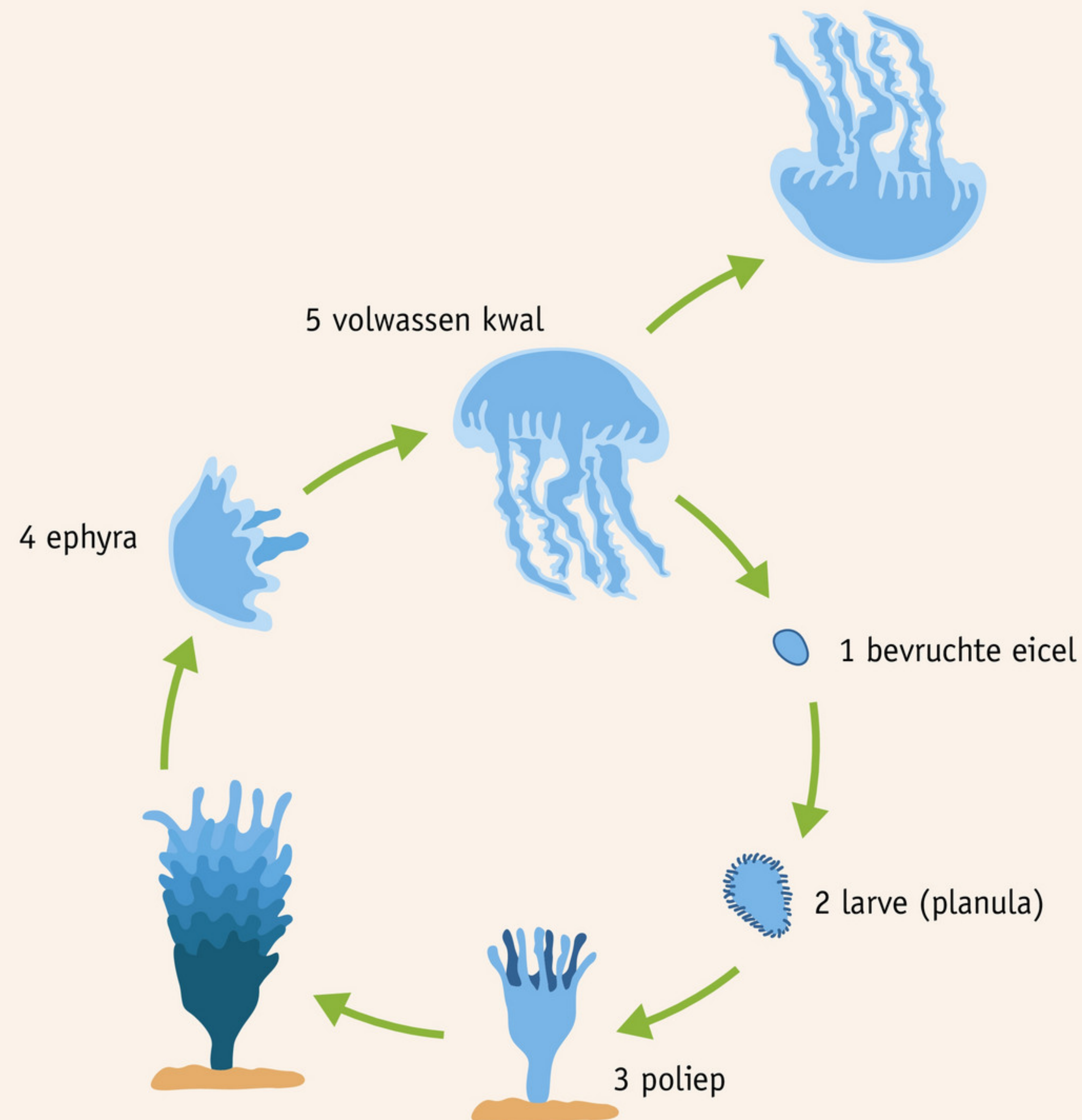
Oorkwallen leggen kernreactor stil

Een Zweedse kernreactor aan de Baltische Zee is tijdelijk stilgelegd vanwege een school oorkwallen (*Aurelia aurita*) die de toevoer van koelwater blokkeert. De koelwaterleidingen zijn verstopt met duizenden kwallen. Hierdoor kan er geen koud water naar de reactor worden gepompt. Dat is nodig om de reactor en turbines af te koelen. De kernreactor kampte enkele jaren geleden met hetzelfde probleem. Ook voor vissers is deze kwallenbloei een probleem.

Wetenschappers hebben een manier gevonden om de kwallenbloei te bestrijden: ze gaan ingrijpen in de levenscyclus van de oorkwal (zie afbeelding 4). De levenscyclus van de oorkwal begint als uit zaadcellen en eicellen van volwassen oorkwallen een bevruchte eicel ontstaat. Hieruit groeit een vrijzwemmende larve. De larve zoekt een geschikte plek uit op de bodem in niet al te diep water en zet zichzelf vast als een poliep. De poliep groeit en kopieert zichzelf steeds totdat de kopieën als schijfvormige afsnoeringen (ephyra) loslaten. Hieruit groeien volwassen vrijzwemmende kwallen.

Waarom en hoe veranderen de poliepen in kwallen? Dit proces van strobilatie start van nature in de winter. Als reactie op de dalende temperatuur maken de oorkwallen specifieke eiwitten. Deze eiwitten zorgen ervoor dat in het voorjaar de ephyra loslaten en uitgroeien tot kwalletjes. Dit inzicht kan helpen de levenscyclus van de oorkwal te blokkeren en kwallenbloei in toom te houden.

► **Afb. 4** De levenscyclus van een oorkwal.



opdrachten

- 7 **a** Tijdens welke fase van de levensloop van een oorkwal neemt het lichaamsgewicht het meest toe?
b Noem de ontwikkelingen van een oorkwal tijdens zijn levensloop en beschrijf hoe de oorkwal hierdoor anders gaat functioneren.
- 8 Wetenschappers onderzochten het proces van strobilatie bij *Aurelia aurita*. Beschrijf op welke manieren de kennis over strobilatie nuttig kan zijn voor mensen.
- 9 Strobilatie bij oorkwallen vindt plaats in het voorjaar.
a Leg uit dat de overlevingskansen van oorkwallen toenemen als strobilatie in het voorjaar plaatsvindt.
b Wetenschappers kunnen de eiwitten die strobilatie in gang zetten in een laboratorium maken.
 Op welk moment kunnen ze deze eiwitten gebruiken om kwallenbloei te voorkomen?

Leerdoelen

- Je kunt orgaanstelsels, organen, weefsels en cellen bij een mens herkennen en de kenmerken en functies ervan beschrijven.
- Je kunt beschrijven dat groepen cellen in een weefsel, orgaan of orgaanstelsel een gezamenlijke functie uitoefenen.
- Je kunt bij (delen van) organismen het verband aangeven tussen vorm en functie.

2 Organen, weefsels en cellen

Stel dat je naar de aarde kijkt en steeds verder kunt inzoomen. Wanneer je uitkomt bij een mens, zoom je nog verder in op het lichaam. Wat zie je dan?

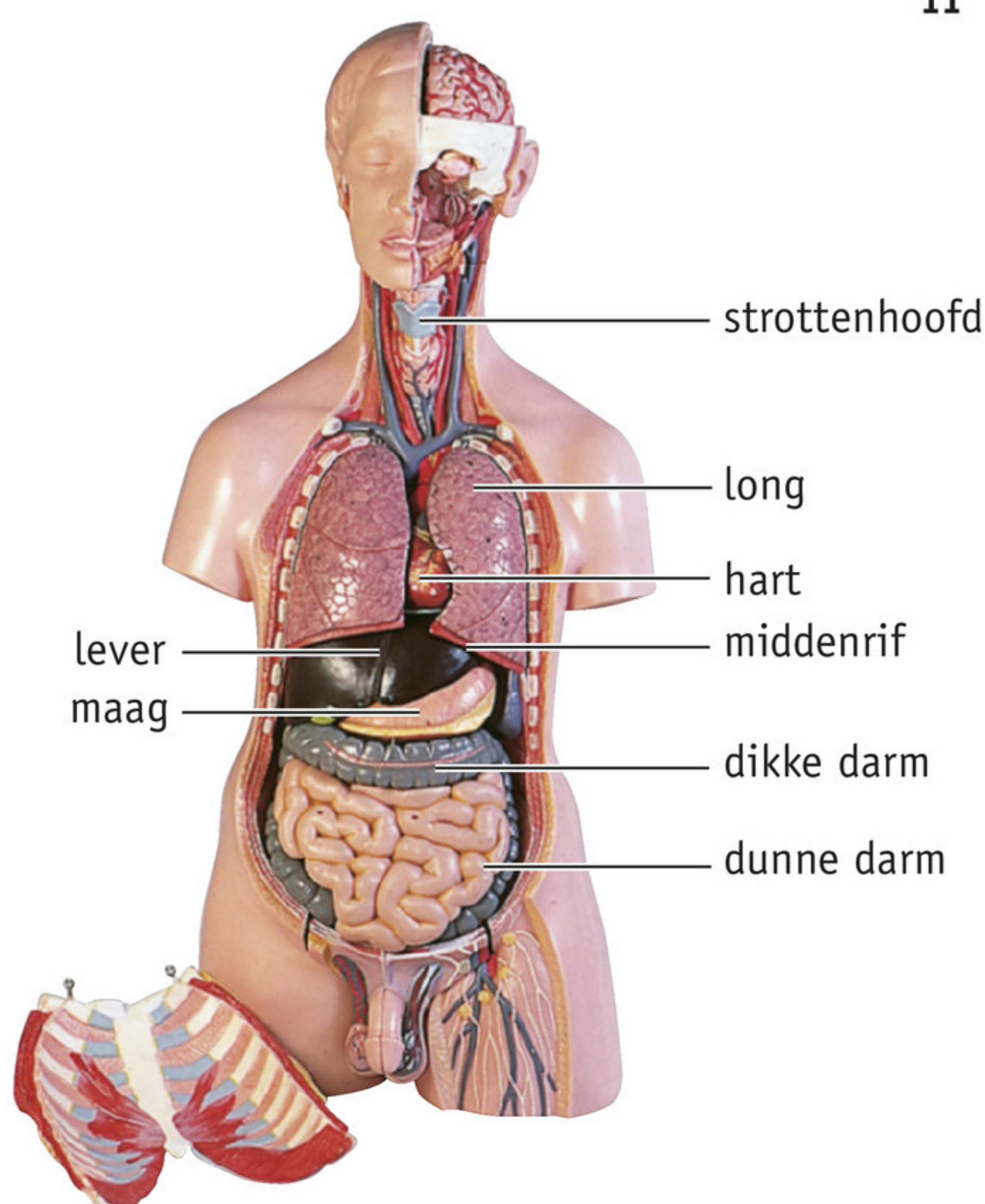
ORGAANSTELSELS MET ORGANEN

Een **orgaanstelsel** bestaat uit een aantal organen dat samen een bepaalde functie uitoefent. Voorbeelden van orgaanstelsels zijn het verteringsstelsel, het ademhalingsstelsel en het bloedvatstelsel. In afbeelding 5 zie je een torso van een man waarbij de ribben zijn weggenomen. Van verschillende organen is de naam aangegeven. Het middenrif scheidt de romp in de borstholte en de buikholte.

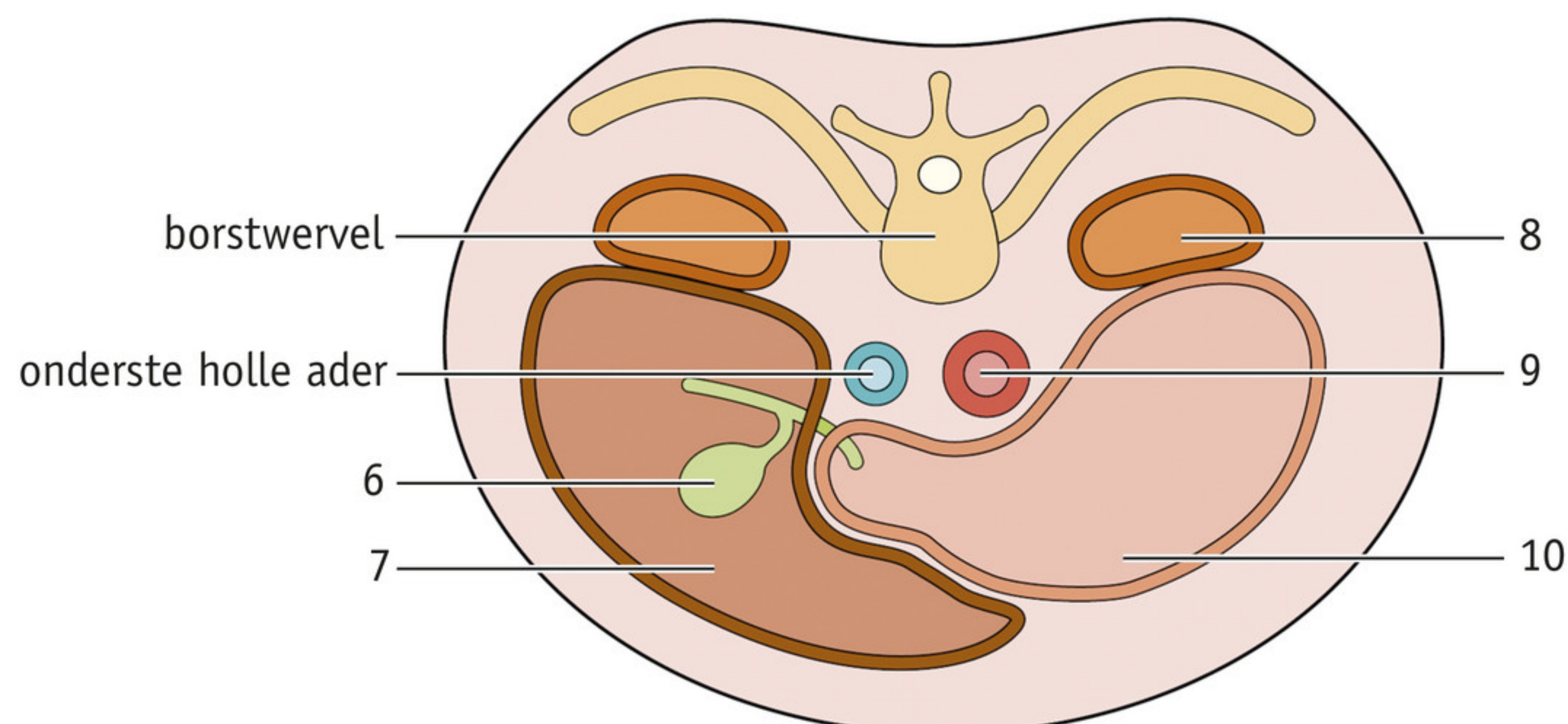
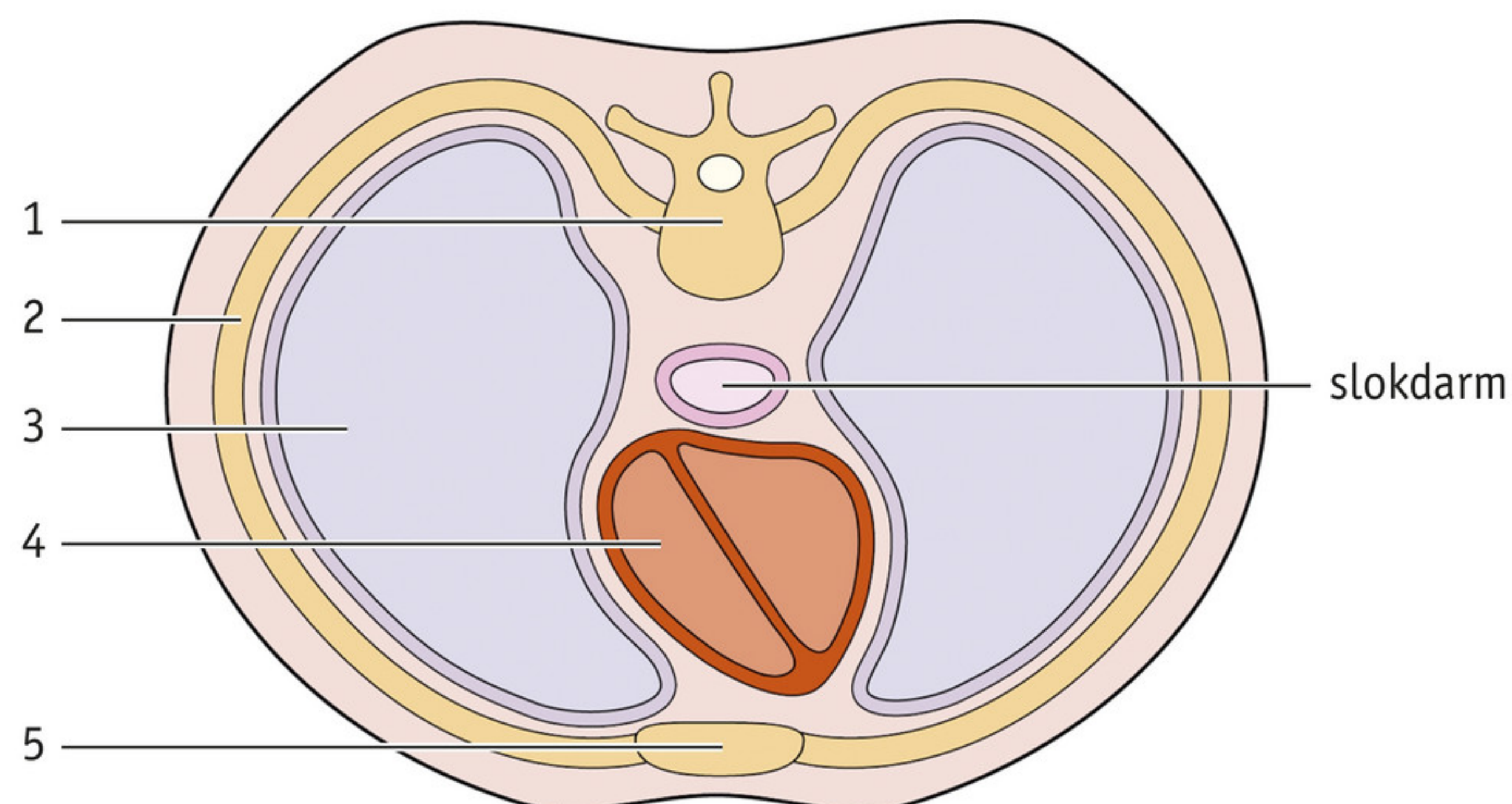
opdrachten

- 10** Afbeelding 5 laat de torso van een man zien.
- Welke organen horen bij het verteringsstelsel?
 - Tot welk orgaanstelsel behoort het hart?
- 11** In afbeelding 6 zijn twee dwarsdoorsneden van de romp van de mens schematisch getekend.
- Noteer de namen van de genummerde organen.
 - Tot welk orgaanstelsel behoren de nummers 1 en 2?

▼ **Afb. 5** Torso van een man.



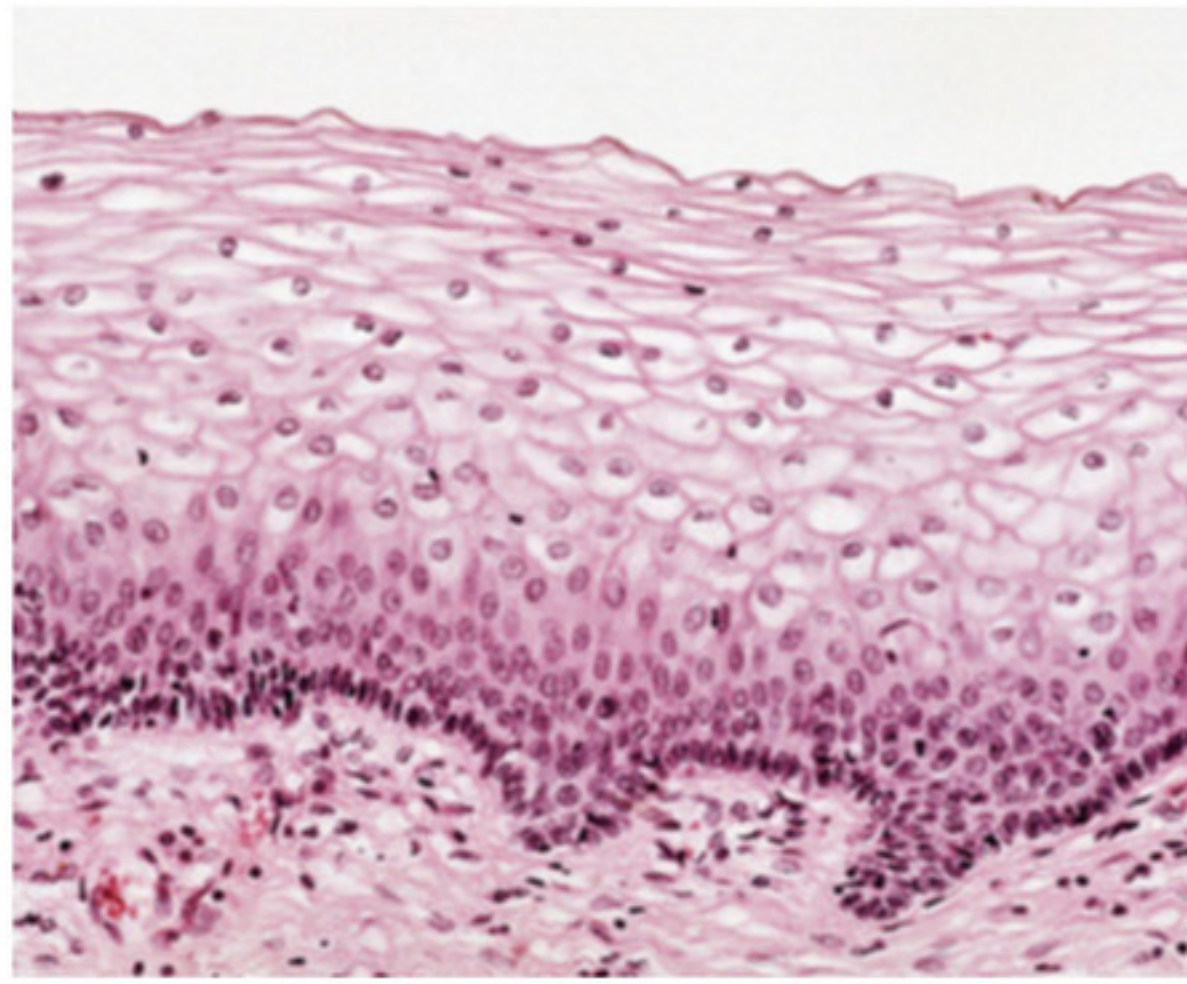
▼ **Afb. 6** Dwarsdoorsneden van de romp van een mens (schematisch).



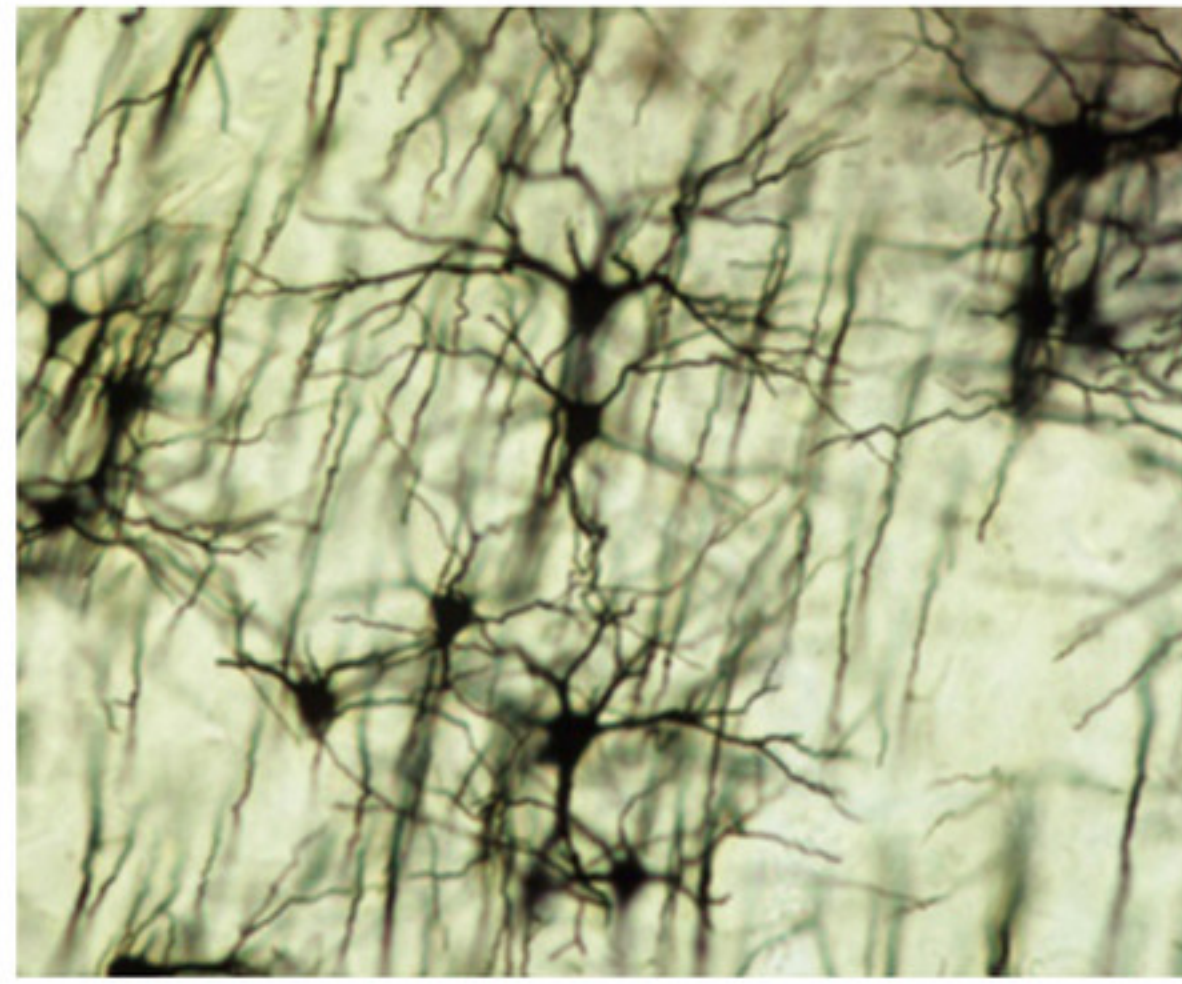
WEEFSELS

Organen zijn opgebouwd uit weefsels. Bij meercellige organismen ontstaan bij de ontwikkeling verschillende typen cellen, zoals spiercellen, zenuwcellen en beencellen. Deze cellen hebben allemaal een andere vorm en een andere functie. Een groep cellen met dezelfde vorm en functie noem je een **weefsel**. In je lichaam komen verschillende soorten weefsels voor. In afbeelding 7 zie je vier voorbeelden. Van elke soort weefsel bestaan verschillende typen. De vorm van de cellen in een weefsel hangt nauw samen met de functie.

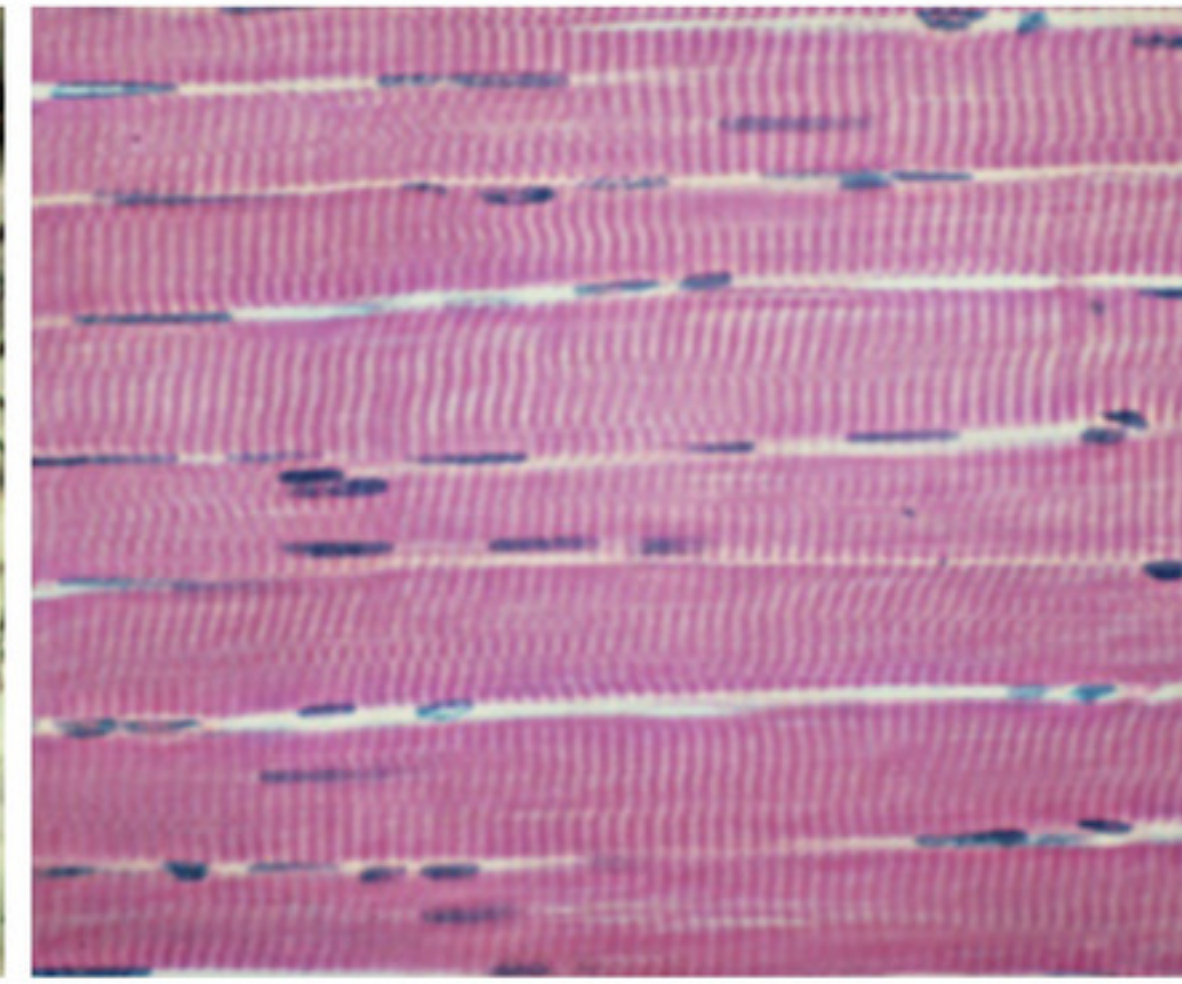
▼ **Afb. 7** Vier soorten weefsels.



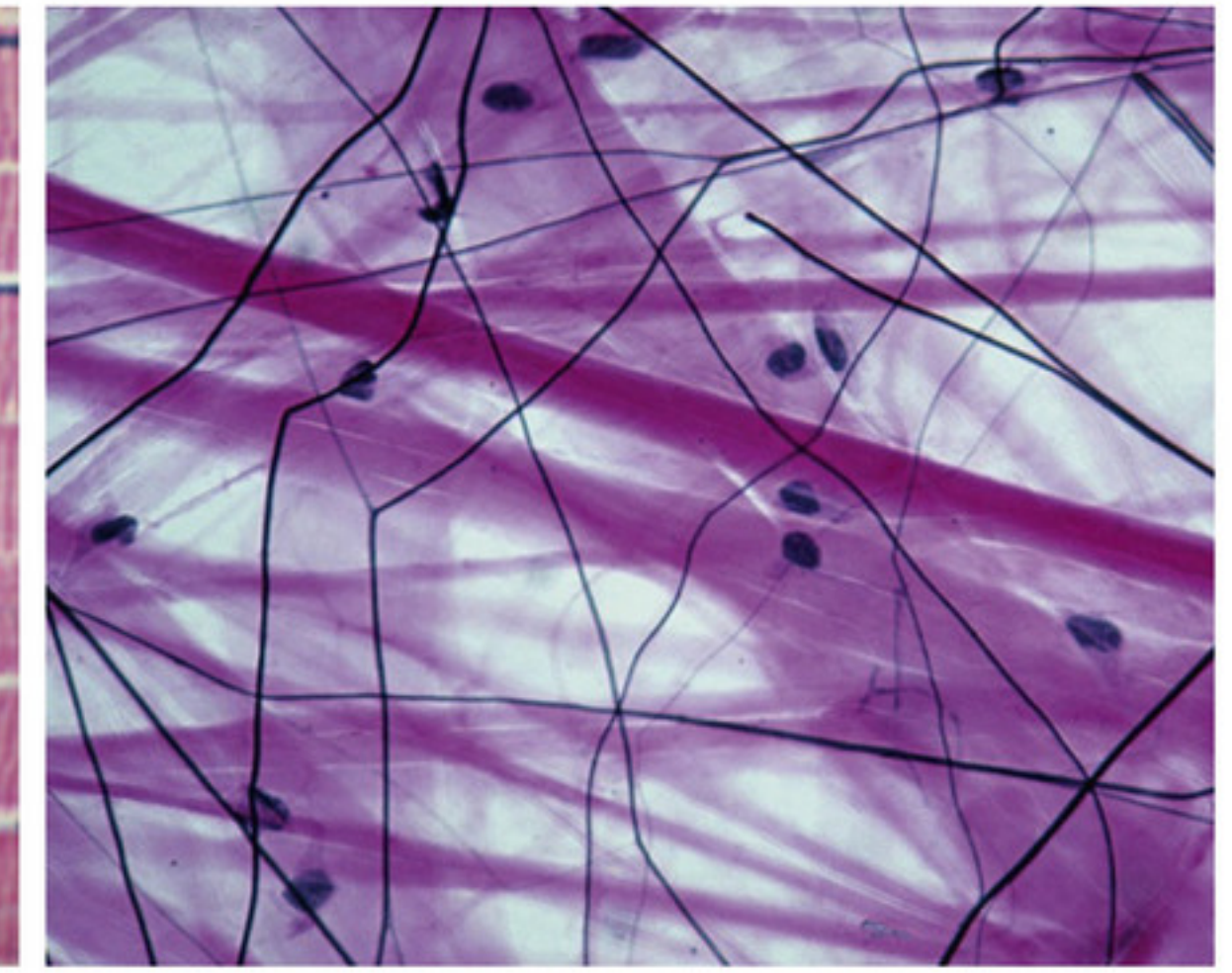
dekweefsel (epitheel)



zenuwweefsel



spierweefsel



bindweefsel

Op verschillende plaatsen in je lichaam komt **dekweefsel** (epitheel) voor. Dit weefsel bekleedt en beschermt inwendige en uitwendige lichaamsoppervlakten. In holle organen zoals de longen en het darmkanaal, zit dekweefsel dat slijmvlies wordt genoemd. De bovenste laag van je huid is een ander type dekweefsel. Alle typen dekweefsels hebben gemeenschappelijke kenmerken. De cellen zijn vaak rechthoekig en liggen heel dicht tegen elkaar aan.

Zenuwweefsel vind je in de organen van je zenuwstelsel: in je hersenen, je ruggenmerg en je zenuwen. De zenuwcellen die in zenuwweefsel zitten, geven informatie door. Daarvoor bezitten zenuwcellen sterk vertakte uitlopers die een netwerk vormen. **Spierweefsel** bestaat uit langgerekte cellen die kunnen samentrekken.

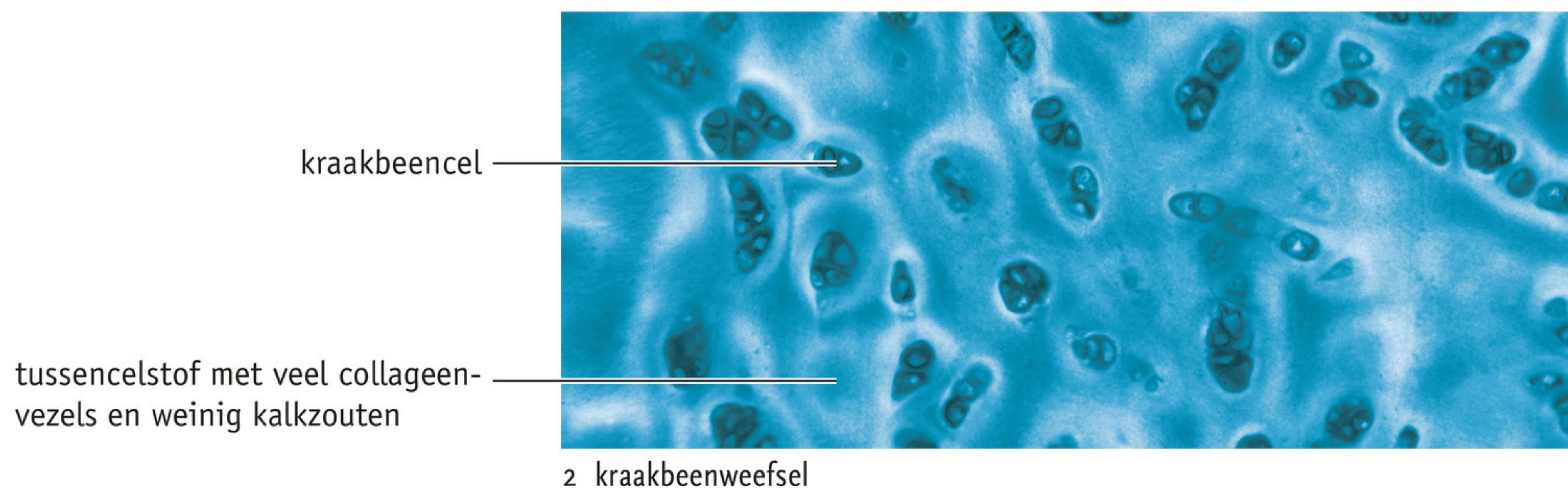
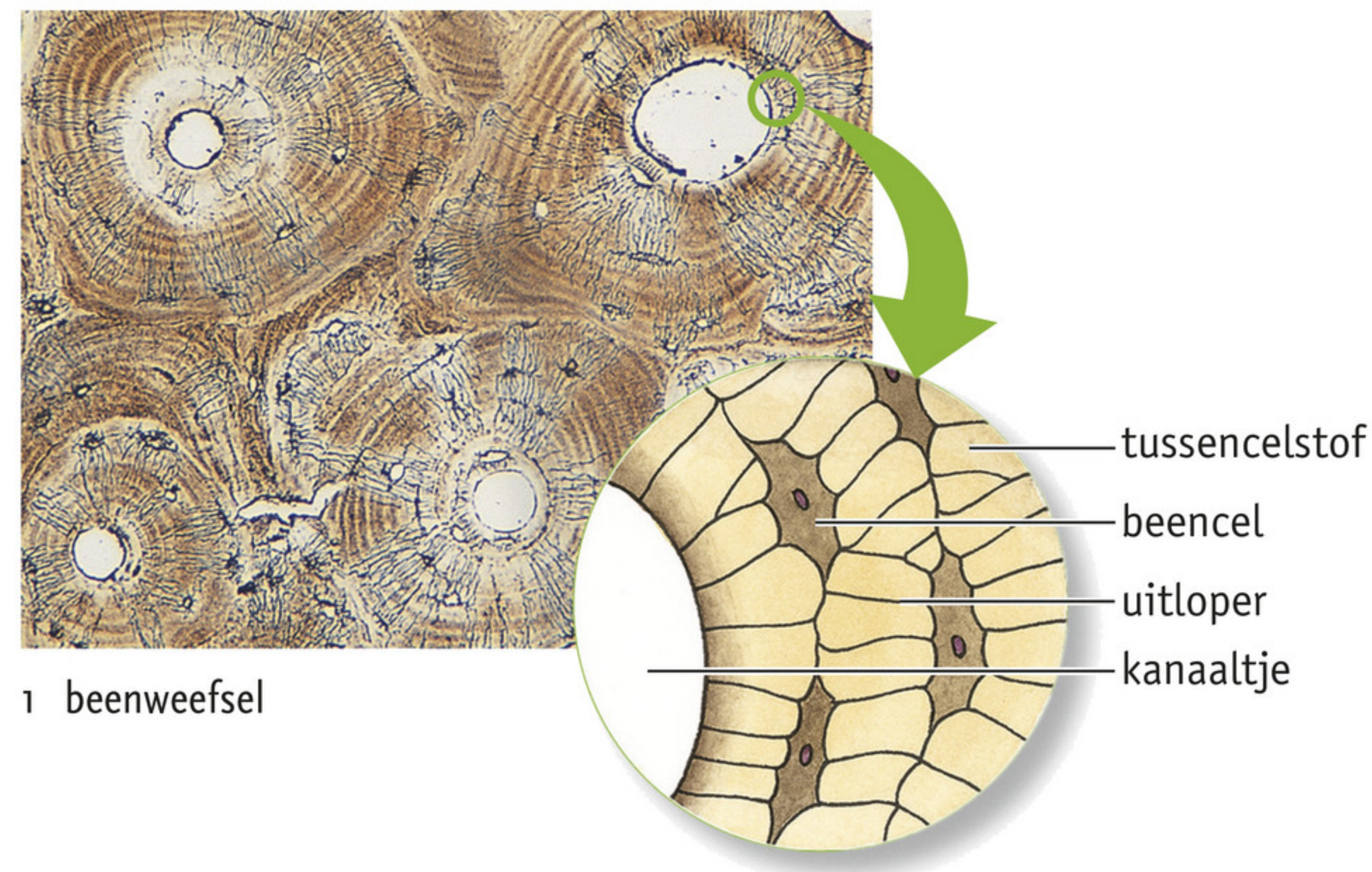
Bindweefsel geeft steun en vorm aan het organisme en aan afzonderlijke organen. Het verbindt de lichaamsdelen onderling en het vult ruimten tussen organen op. Bij bindweefsel liggen cellen verder uit elkaar met daartussen vezels en tussencelstof. De vezels kunnen stevig of elastisch zijn, of een netwerk vormen. Het type vezel, de dichtheid ervan en de tussencelstof bepalen de functie van het bindweefsel. In pezen komen bijvoorbeeld veel stevige vezels voor. In de wand van grote slagaders komen veel elastische vezels voor. En vezels die een netwerk vormen, geven ondersteuning aan organen zoals de lever en de milt. Kraakbeen en been bestaan uit een type bindweefsel dat steunweefsel wordt genoemd, omdat ze het lichaam ondersteunen.

TUSSENCELSTOF

Bij veel weefsels liggen de cellen niet direct tegen elkaar aan, maar komt **tussencelstof** voor. Het soort tussencelstof hangt samen met de functie van het weefsel. De tussencelstof kan bijvoorbeeld dienen ter versteviging. De celwand bij planten bevat tussencelstof en geeft de cel stevigheid. In beenweefsel (zie afbeelding 8.1) bevinden zich tussen de cellen kalkzouten en collageenvezels. De kalkzouten geven stevigheid aan beenweefsel. Collageenvezels zijn lijmvormende vezels die in beenweefsel zorgen voor de samenhang van het weefsel. Beenweefsel zou zonder collageenvezels hard zijn, maar ook heel bros. De beencellen in beenweefsel hebben uitlopers die in contact staan met andere beencellen waardoor transport van stoffen mogelijk is. In de kanaaltjes in het beenweefsel bevinden zich bloedvaten en zenuwen.

In kraakbeenweefsel liggen groepjes van twee of drie cellen tegen elkaar en daartussen bevindt zich de tussencelstof (zie afbeelding 8.2). Die bevat bij kraakbeen minder kalkzouten maar meer collageenvezels. Dat zorgt ervoor dat het kraakbeen elastisch en buigzaam is. Hierdoor kan het weefsel enigszins vervormen. Kraakbeen bevindt zich op plaatsen in het lichaam waar vervormingen kunnen plaatsvinden.

► **Afb. 8** Weefsels met tussencelstof.



opdrachten

- 12** De tussencelstof van beenweefsel is hard.
- Leg uit dat dat te maken heeft met de functie van het beenweefsel.
 - Is de tussencelstof van kraakbeenweefsel hard of zacht? Leg je antwoord uit.
 - Beenderen zijn omgeven door beenvlies. De buitenste laag van het beenvlies bevat vezels en ondersteunt de aanhechting van pezen aan een been.
Tot welk type weefsel hoort de buitenste laag van beenvlies? Leg je antwoord uit.
 - Kraakbeen is weefsel dat moeilijk herstelt als het is beschadigd.
Leg uit hoe dat komt.
- 13** In Nederland kun je vanaf 12 jaar via het Donorregister vastleggen of je je organen na je overlijden beschikbaar stelt voor transplantatie. Je kunt er voor kiezen om je nabestaanden of één specifieke persoon te laten beslissen na je overlijden. 88% van de Nederlanders van 18 jaar en ouder wil een orgaan ontvangen mocht dat nodig zijn. Slechts 26% van deze groep mensen staat geregistreerd als donor.

- a Marion besluit zich te registreren als donor. In het Donorregister leest Marion dat onder andere de volgende delen van haar lichaam in aanmerking komen voor donatie: alvleesklier, bloedvaten, bot, dunne darm, hart, hartkleppen, hoornvliezen, kraakbeen, lever, longen, nieren en pezen. Neem het volgende schema over en maak de juiste combinaties.

Orgaanstelsel	Orgaan	Weefsel
Ademhalingsstelsel		
Beenderstelsel		
Bloedvatenstelsel		
Uitscheidingsstelsel		
Verteringsstelsel		
Zintuigstelsel		

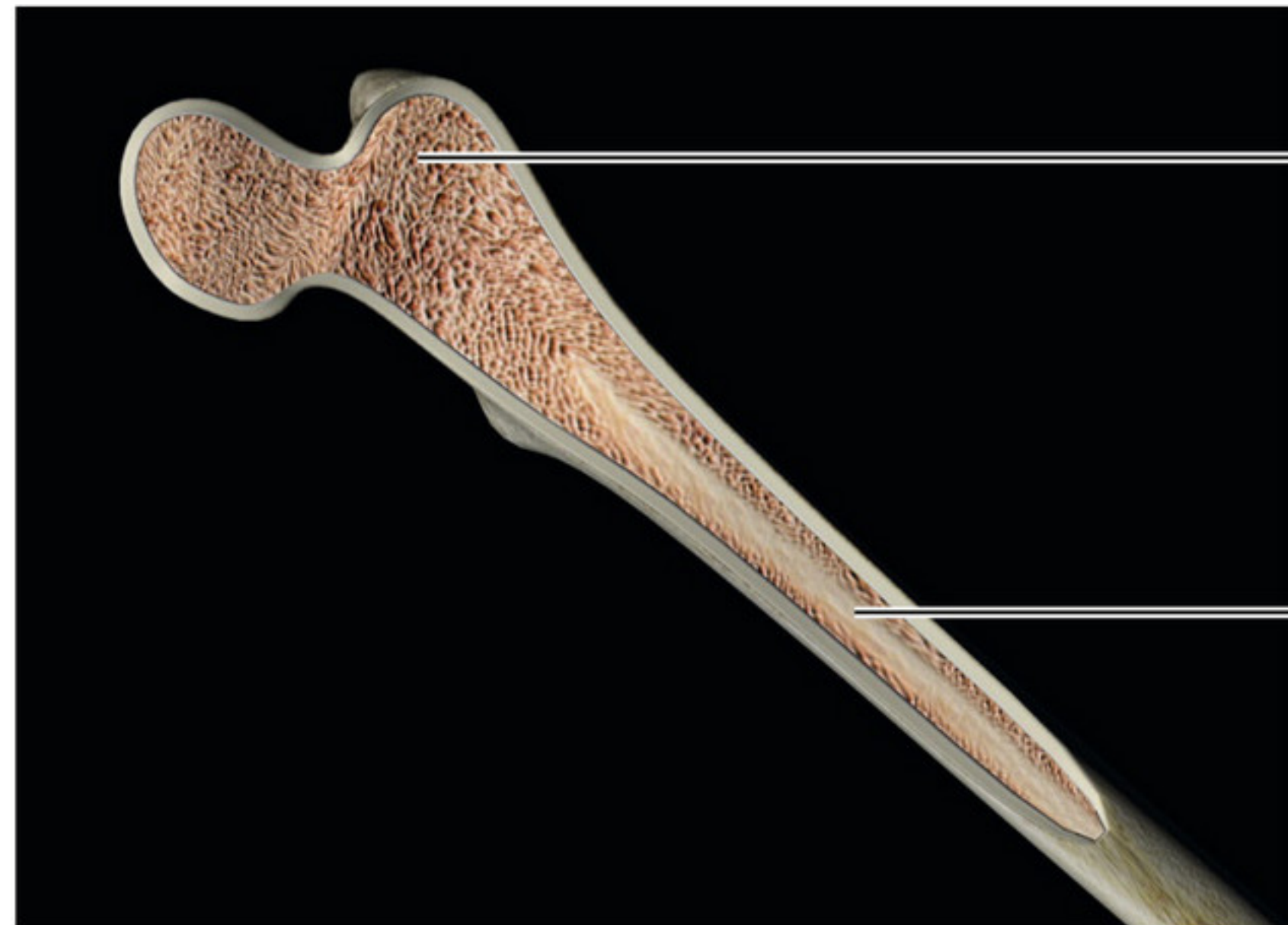
- b Welke organen zijn met pezen bevestigd aan botten?
- c Ook kun je je huid doneren. Huid, haren en nagels vormen samen een orgaanstelsel. Welke functies heeft dit orgaanstelsel? Noem er drie.
- d Welke van de in afbeelding 7 genoemde weefselsoorten kun je in de huid aantreffen? Gebruik bij deze opdracht je *BiNaS* (tabel 87A).
- 14 Op 1 januari 2015 stonden 1044 mensen op de wachtlijst voor orgaantransplantatie. Ieder jaar sterven gemiddeld 140 patiënten die op de wachtlijst staan. Het is niet altijd te voorkomen dat een patiënt overlijdt, maar een groter aanbod van donororganen kan het aantal wel verminderen. In de afgelopen jaren zijn veel voorstellen gedaan met betrekking tot orgaandonatie, onder andere door het KNMG (Koninklijke Nederlandse Maatschappij tot bevordering der Geneeskunst). Vijf voorstellen:
- 1 Iedereen is donor, tenzij je met een formulier aangeeft dat je geen donor wilt zijn.
 - 2 Als iemand geen uitspraak over orgaandonatie heeft gedaan, moet je van de organen van deze persoon afblijven.
 - 3 Iedereen van 18 jaar en ouder moet verplicht worden een keuze te maken op het donorformulier.
 - 4 Als je niet als donor geregistreerd staat, kom je ook niet in aanmerking om een orgaan te ontvangen.
 - 5 Mensen die zelf schade aan hun organen toebrengen (door bijvoorbeeld roken en alcohol), komen onderaan op de wachtlijst.
- Noteer de nummers van de voorstellen en geef bij ieder voorstel jouw mening en beargumenteer die mening. Vergelijk en bespreek je mening (per voorstel) met die van drie andere klasgenoten.

VORM EN FUNCTIE

Bij organismen is er een verband tussen de vorm en de functie van de biologische eenheden (bijvoorbeeld cellen en weefsels) waaruit ze zijn opgebouwd. In het skelet zie je ook voorbeelden van het verband tussen vorm en functie. Dijbeen en scheenbeen zijn langwerpige holle beenderen (zie afbeelding 9.1). In de kop van een dijbeen bestaat het beenweefsel uit beenbalkjes met daartussen beenmerg. De beenbalkjes lopen in de richtingen waarin de grootste krachten op het bot

worden uitgeoefend. Hierdoor zijn dijbeenderen zo licht mogelijk zonder dat dit ten koste gaat van de stevigheid en kunnen je benen je lichaamsgewicht dragen zonder dat het je te veel energie kost om ze te verzetten. De beenderen in de voeten hebben samen een gewelfde vorm (zie afbeelding 9.2). Door deze vorm zijn de voeten goed in staat het gewicht van je lichaam te dragen en schokken op te vangen.

▼ **Afb. 9** Vorm en functie gaan samen.



kop met beenbalkjes

mergholte

1 een dijbeen van de mens (lengtedoorsnede)



2 de gewelfde vorm van een voet

▼ **Afb. 10** Gestroomlijnde lichaamsvorm bij een dolfijn.

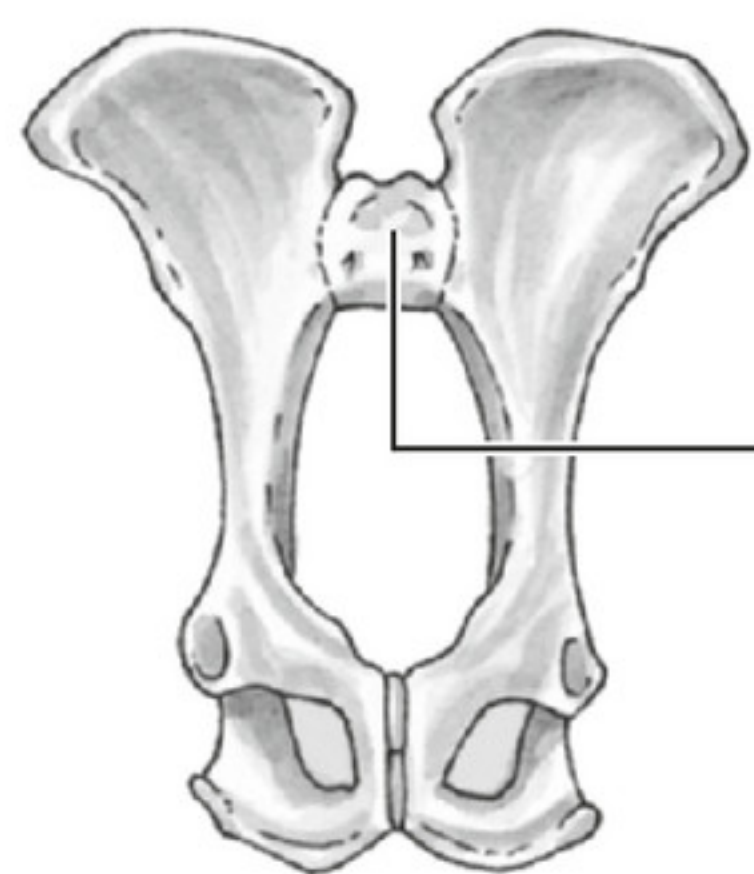


Diersoorten die in het water leven, hebben in het algemeen een lichaamsvorm die weinig weerstand ondervindt van het water. Kop, romp en staart gaan geleidelijk in elkaar over. Deze lichaamsvorm heet een stroomlijnvorm. Behalve bij vissen kun je deze lichaamsvorm ook aantreffen bij vogels en zoogdieren (zie afbeelding 10). Wetenschappers kijken voor het ontwerpen van een product soms goed naar de natuur. De vorm en functie van biologische eenheden staan dan model voor een technisch ontwerp. Een duikboot heeft bijvoorbeeld een gestroomlijnde vorm en ondervindt daardoor weinig weerstand van het water.

opdrachten

- 15** Chimpansees kunnen rechtop staan en lopen. Gewoonlijk gebruiken ze alle ledematen hiervoor. Ook bij het klimmen in bomen gebruiken ze alle ledematen.
In afbeelding 11 zijn het bekken en de wervelkolom van een chimpansee en van een mens getekend.

▼ **Afb. 11** Bekken en wervelkolom van een chimpansee en een mens.



heiligbeen



1 het bekken van een chimpansee

2 het bekken van een mens



3 de wervelkolom van een chimpansee



4 de wervelkolom van een mens

▼ **Afb. 12** Een zadelpen.



- a Wat is het verschil tussen het heiligbeen van een chimpansee en dat van een mens?
- b Welk verschil is er tussen de wervelkolom van een chimpansee en die van een mens?
- c Leg uit dat de verschillen in bouw van het heiligbeen en de wervelkolom te maken hebben met de levenswijze van de chimpansee en de mens.

16 Een mol leeft onder de grond en heeft een gestroomlijnd lichaam. Leg uit dat dat voor een mol van belang is.

17 De zadelpen van een fiets is hol (zie afbeelding 12). Noem een orgaan bij de mens met een vergelijkbare vorm en functie.

CONTEXT

Beroep

Biomimicry

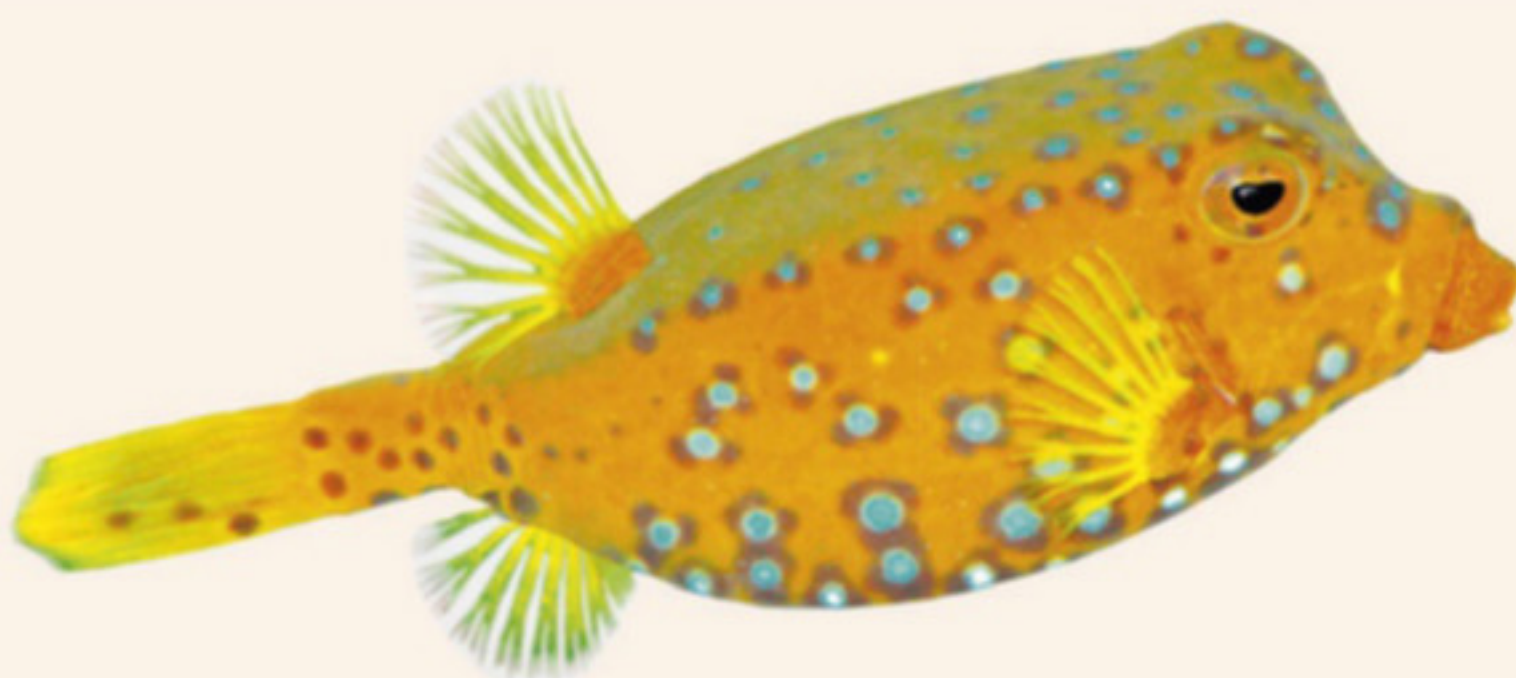
Biomimicry is de wetenschap die voorbeelden uit de natuur bestudeert en de kennis gebruikt om producten te ontwerpen of problemen op te lossen. De term biomimicry is afgeleid van de Griekse woorden *bios* 'leven' en *mimesis* 'imiteren', dus letterlijk 'het leven imiteren'.

Ontwerpers onderzoeken vaak de relatie tussen een biologische vorm en de functie ervan bij het ontwerpen van een product. Zo is voor het ontwerp van klittenband gekeken naar de zaden van de klit (*Arctium*). De zaden hebben stekels met aan de uiteinden haakjes die goed aan textiel en vacht blijven hangen.

Gekko's kunnen zonder problemen tegen muren en plafonds lopen dankzij miljoenen minuscule haartjes onder hun voetzolen. Met deze kennis is gekkotape ontworpen: plakband met superkleefkracht.

Voor het ontwerp van een kleine, zuinige auto hebben ontwerpers inspiratie gehaald uit de oceaan. Ze keken daarvoor niet naar slanke, snel zwemmende vissen, zoals haaien. Ze keken juist naar vissen met wat meer inhoudelijk volume, net als een auto. De koffervis bleek veel volume te hebben maar ook verrassend gestroomlijnd te zijn. De ontwerpers hebben een auto ontworpen gebaseerd op de vorm, huid en het skelet van deze vis (zie afbeelding 13).

▼ **Afb. 13** Ontwerp gebaseerd op de koffervis.



1 een koffervis



2 de auto

opdracht

18 De ontwerpers van de auto van afbeelding 13.2 vonden de koffervis 'verrassend' gestroomlijnd.

- a Leg uit wat ze bedoelen.
- b Op welke organisatieniveaus hebben de ontwerpers een organisme bestudeerd voor het ontwerp van klittenband, gekkotape en de auto?

Leerdoelen

- Je kunt delen van dierlijke cellen en van plantaardige cellen herkennen en de functies ervan benoemen.
- Je kunt een microscoop gebruiken en daarmee (delen van) organismen bestuderen.

3

Plantaardige en dierlijke cellen

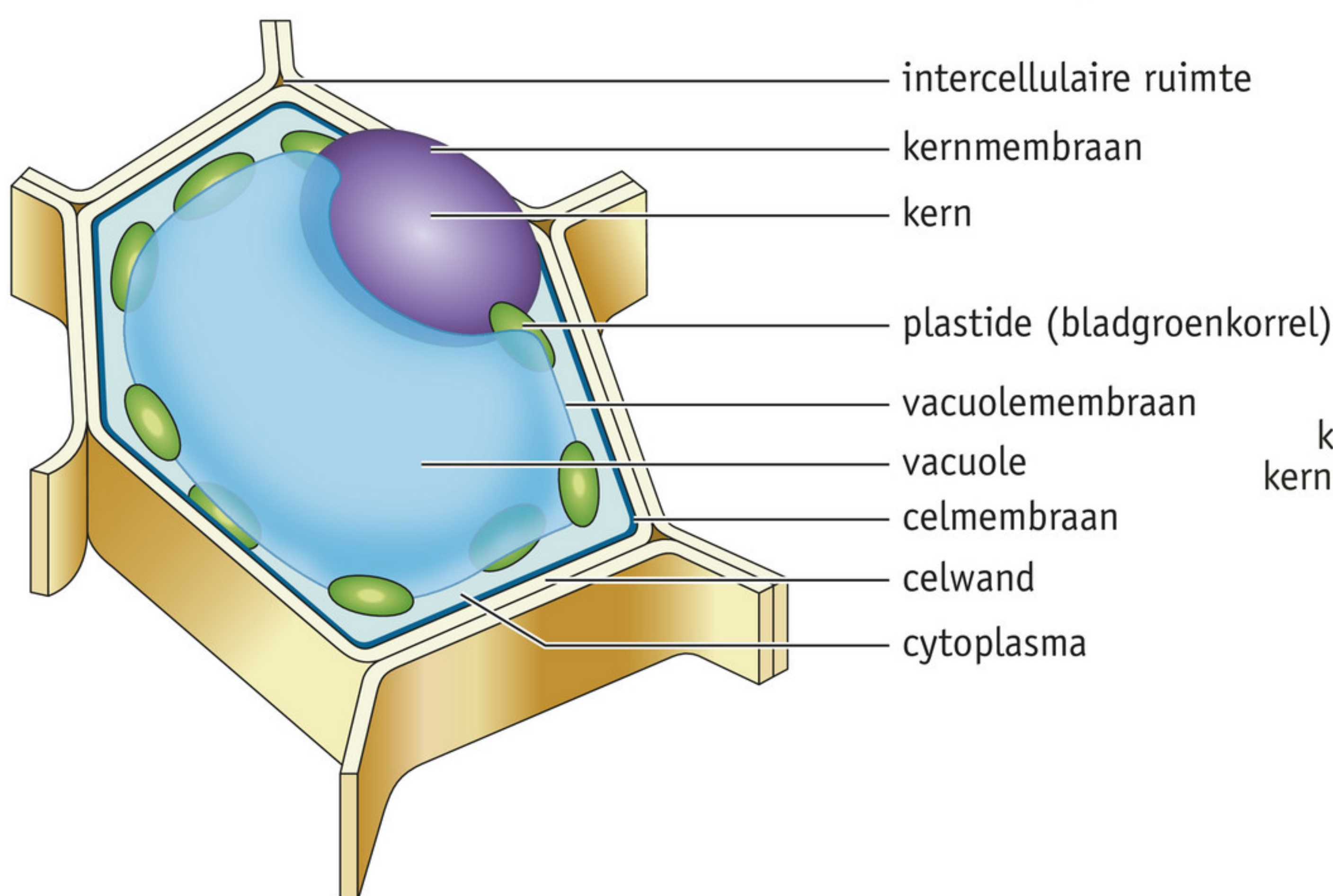
Een cel is de kleinste biologische eenheid die kan leven. Cellen kunnen enorm verschillen, maar ze vertonen ook zeker overeenkomsten. Met behulp van een microscoop kun je zien dat cellen alles behalve simpel zijn.

PLANTAARDIGE EN DIERLIJKE CELLEN

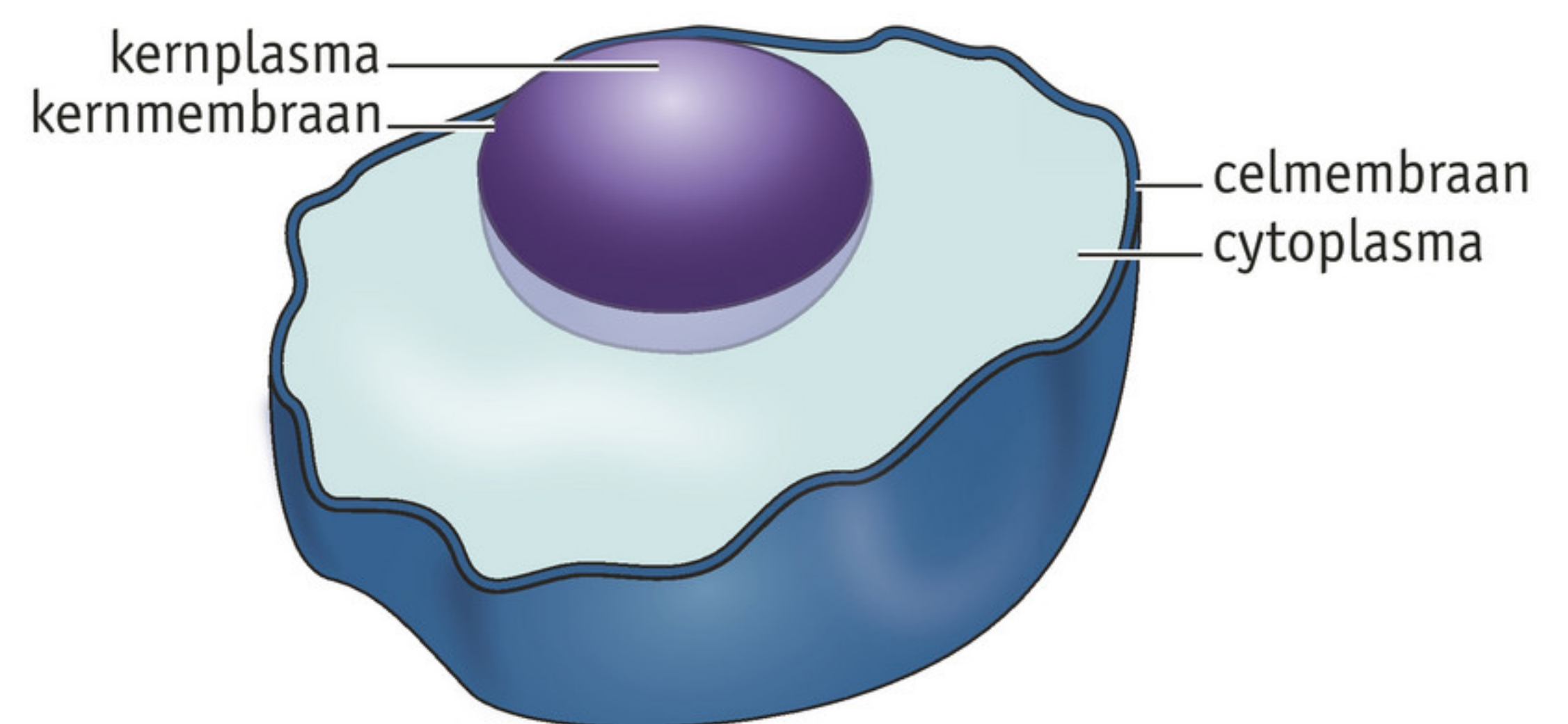
Cellen van plantaardige en dierlijke organismen hebben in hun bouw veel overeenkomsten maar ook veel verschillen. In afbeelding 14 zie je een plantaardige cel en een dierlijke cel met verschillende delen. De aangegeven delen komen niet in alle cellen van alle organismen voor. Elk deel van een cel met een eigen functie noem je een **organel**.

De buitenste laag van een cel heet **celmembraan**. Bij cellen van planten ligt om het celmembraan nog een **celwand**. Het celmembraan bestaat voor het grootste deel uit vetmoleculen. Hierdoor wordt het inwendige van de cel, het **cytoplasma** (**celplasma**), gescheiden van het milieu buiten de cel. Het cytoplasma bestaat uit **grondplasma** met daarin allerlei organellen. Grondplasma bestaat uit water en opgeloste stoffen. Ook de **celkern** ligt in het cytoplasma. Het **kernmembraan** vormt de buitenste laag van de celkern.

▼ **Afb. 14** Een plantaardige cel en een dierlijke cel.



1 een plantaardige cel (schematisch)



2 een dierlijke cel (schematisch)

Veel plantaardige cellen bevatten een grote centrale **vacuole**. Deze is gevuld met vacuolevocht en wordt omgeven door het **vacuolemembraan**. Het cytoplasma ligt in een dunne laag tegen het celmembraan aan. De grote centrale vacuole speelt een belangrijke rol bij de stevigheid van plantaardige cellen. Ook kan de vacuole van een plantaardige cel kleurstoffen bevatten. De kleurstoffen geven de kleur aan bijvoorbeeld bloemen en vruchten. Bij planten kunnen in het cytoplasma van de cellen ook **plastiden** voorkomen. Van deze organellen bestaan verschillende typen: **chloroplasten** (**bladgroenkorrels**), **chromoplasten** en **leukoplasten**. Chloroplasten bevatten groene kleurstoffen (**chlorofyl**). In chromoplasten komen gele, oranje en rode kleurstoffen voor. Leukoplasten dienen om stoffen zoals vet, zetmeel en eiwit in op te slaan. Zetmeelkorrels zijn bijvoorbeeld leukoplasten waarin zetmeel is opgeslagen.

Sommige plastiden kunnen overgaan in andere. Zo gaan chloroplasten tijdens het rijpen van vruchten over in chromoplasten. Dit gebeurt bijvoorbeeld tijdens het rijpen van een tomaat.

Op plaatsen waar plantaardige cellen niet helemaal op elkaar aansluiten ontstaan **intercellulaire ruimten**. Deze ruimten zijn gevuld met lucht of vocht.

CELLEN BEKIJKEN

In 1665 bekeek Robert Hooke een stukje kurk met een zelfgebouwde microscoop die 30× kon vergroten. Hij ontdekte dat kurk uit kleine hokjes bestaat, die hij cellen noemde. Hij introduceerde daarmee de term 'cel' in de biologie. Zijn tijdgenoot Antoni van Leeuwenhoek ontwikkelde enkele jaren later een microscoop die 480× kon vergroten. Met deze microscoop kon hij als eerste mens levende cellen waarnemen. Hij bestudeerde, beschreef en tekende heel kleine organismen, weefsels en cellen die hij met zijn eenvoudige microscoop waarnam (zie afbeelding 15).

Microscopen spelen een belangrijke rol bij allerlei onderzoeken. Om de waterkwaliteit te bepalen, kun je bijvoorbeeld met een microscoop bekijken welke soorten organismen in het water leven. Klinisch pathologen onderzoeken in laboratoria van ziekenhuizen cellen en weefsels met behulp van microscopen.

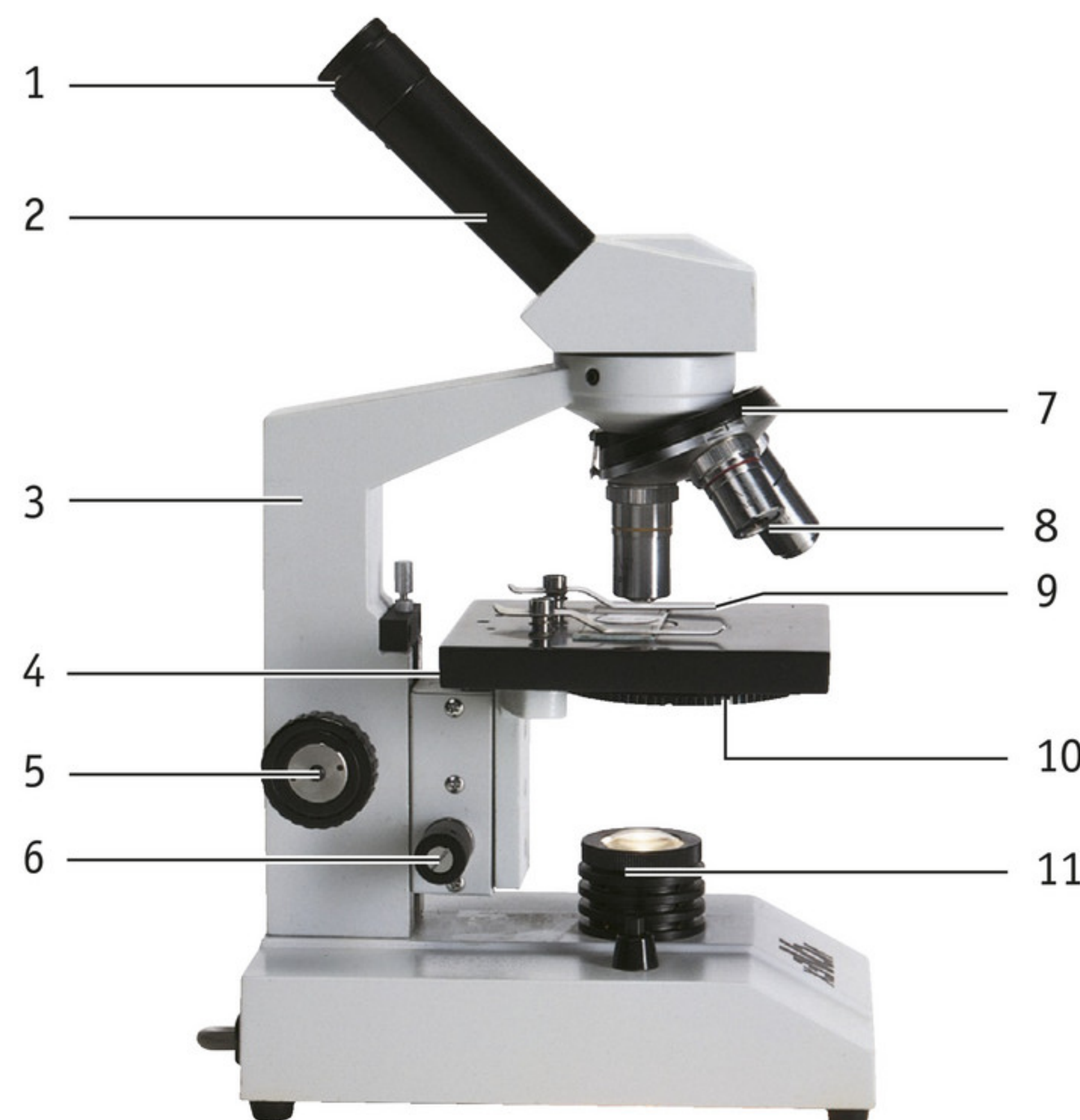
▼ **Afb. 15** Een replica van de microscoop van Antoni van Leeuwenhoek.



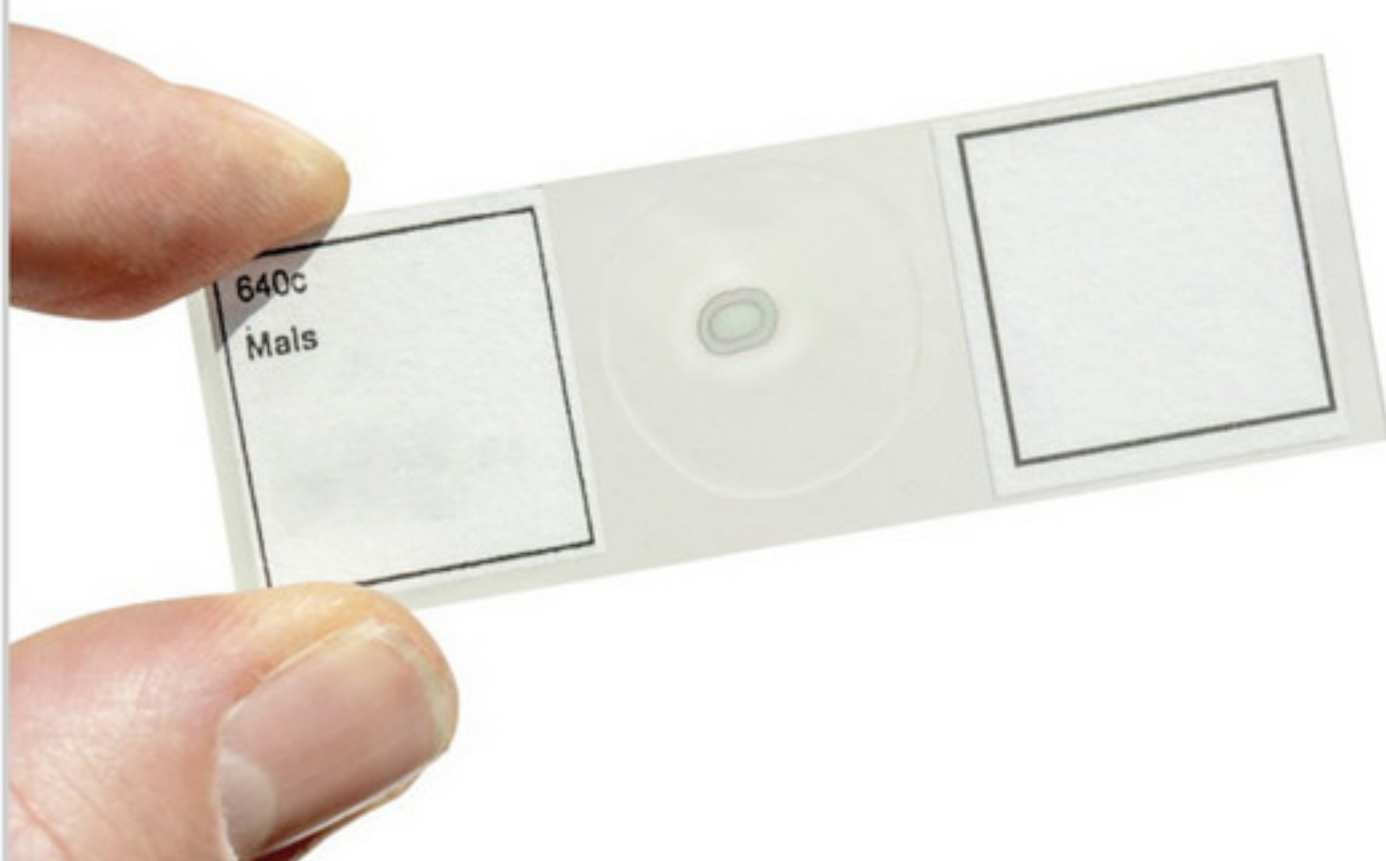
opdracht

- 19 Afbeelding 16 is een foto van een microscoop. Enkele onderdelen zijn genummerd.
- Noteer de namen van de genummerde onderdelen onder elkaar.
 - Noteer van de onderdelen 5, 6, 7, 9 en 10 de functie.

► **Afb. 16** Een lichtmicroscoop.



▼ **Afb. 17** Een preparaat.



WERKEN MET EEN LICHTMICROSCOOP

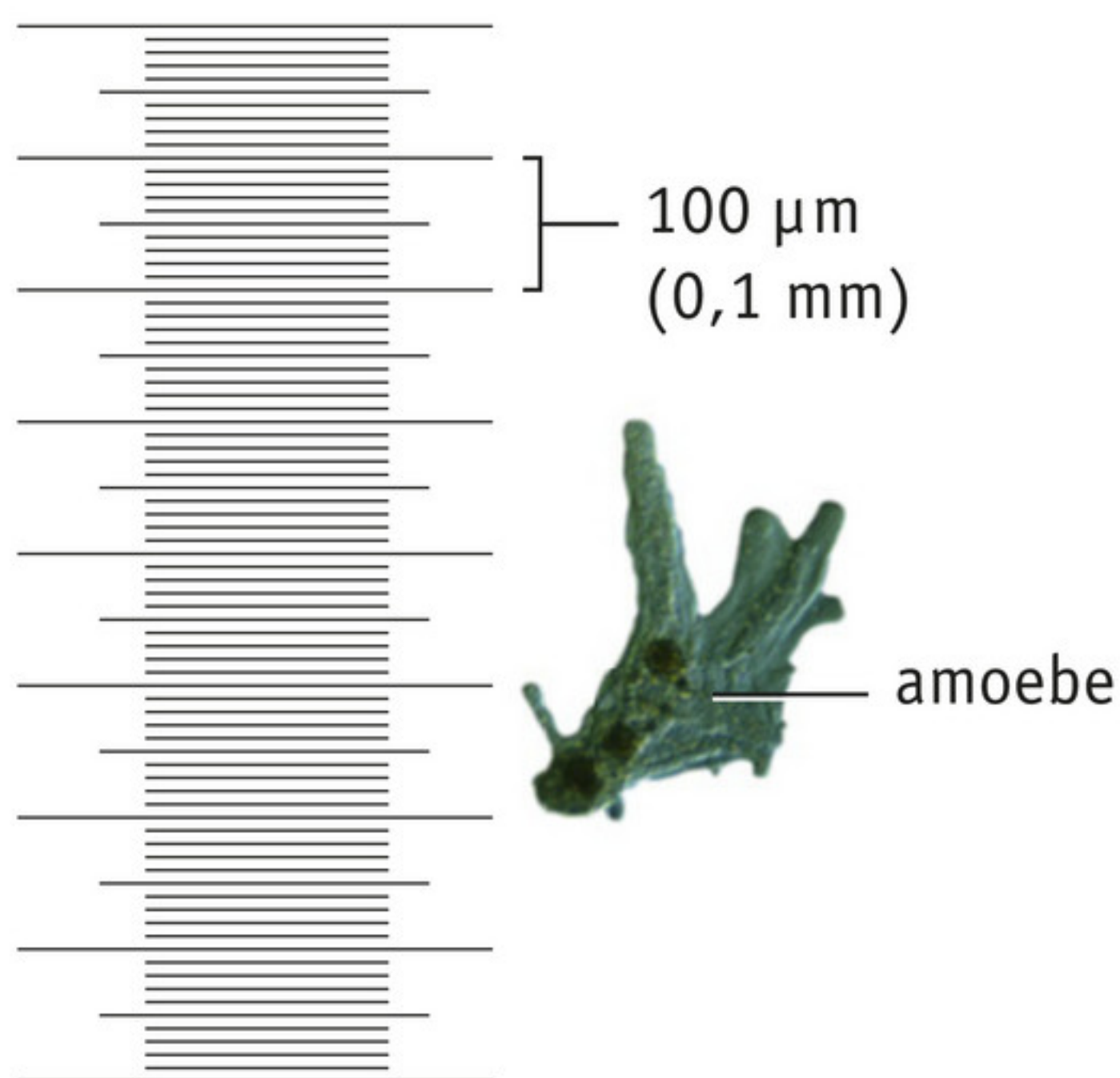
De meeste cellen zijn zo klein dat je ze alleen met een microscoop kunt bekijken. Daarvoor maak je eerst een **preparaat** van de cellen (zie afbeelding 17). Vaak maak je dan een doorsnede. Bij een lengtedoorsnede snijd je in de lengte van het organisme of weefsel. Bij een dwarsdoorsnede snijd je het organisme of weefsel dwars door. Omdat bij microscopen op school licht door het preparaat valt, noem je ze lichtmicroscopen. Het **object** in een preparaat moet erg dun zijn om licht door te kunnen laten.

Microscopen vergroten het beeld dat je ziet. De meeste microscopen op school kunnen 400× tot 600× vergroten. Een preparaat leg je op de tafel van de microscoop en je zet het vast met de preparaatklemmen. Daarna stel je de microscoop in. De vergroting van je microscoop reken je uit door de vergroting van het oculair te vermenigvuldigen met de vergroting van het objectief. Als het oculair 10× vergroot en het objectief 40×, dan is de totale vergroting 400×.

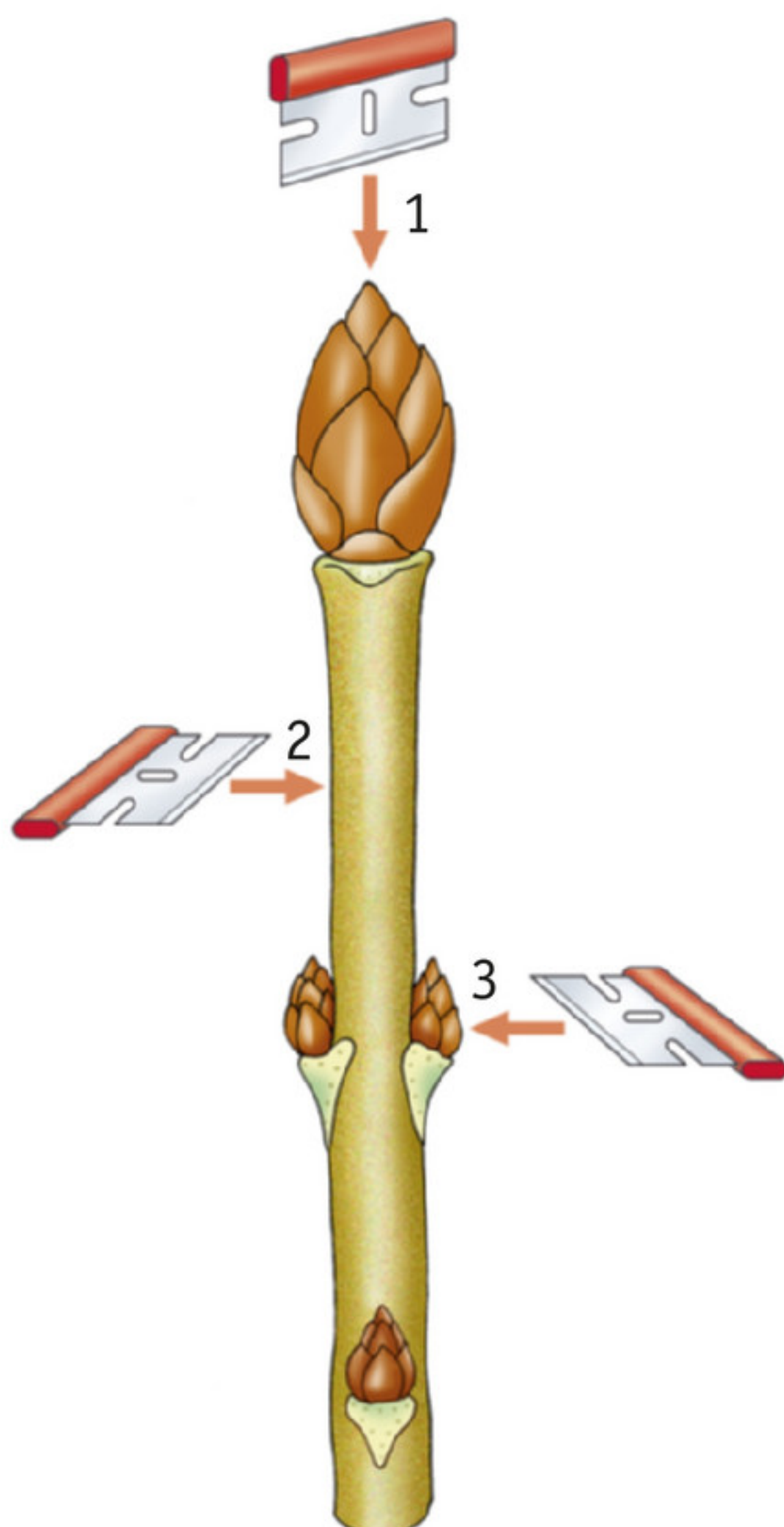
Wanneer je een gedetailleerde tekening maakt van wat je ziet, leer je nauwkeurig te observeren. Schrijf bij je tekening welke vergroting je hebt gebruikt. Dit is dan niet de exacte vergroting van je tekening. Als je groot tekent, zal je vergroting meer zijn dan wanneer je klein tekent.

Stel dat bepaalde cellen ongeveer 0,2 mm groot zijn. Je bekijkt ze bij een vergroting van 100×. Je tekent één cel ongeveer 10 cm groot. De werkelijke vergroting van je tekening is dan $(100 \text{ mm} / 0,2 \text{ mm}) = 500\times$. Toch schrijf je bij je tekening: vergroting 100×. Je tekent dan alleen wat op het vlak van de doorsnede te zien is.

▼ **Afb. 18** Een amoebe met schaalverdeling.



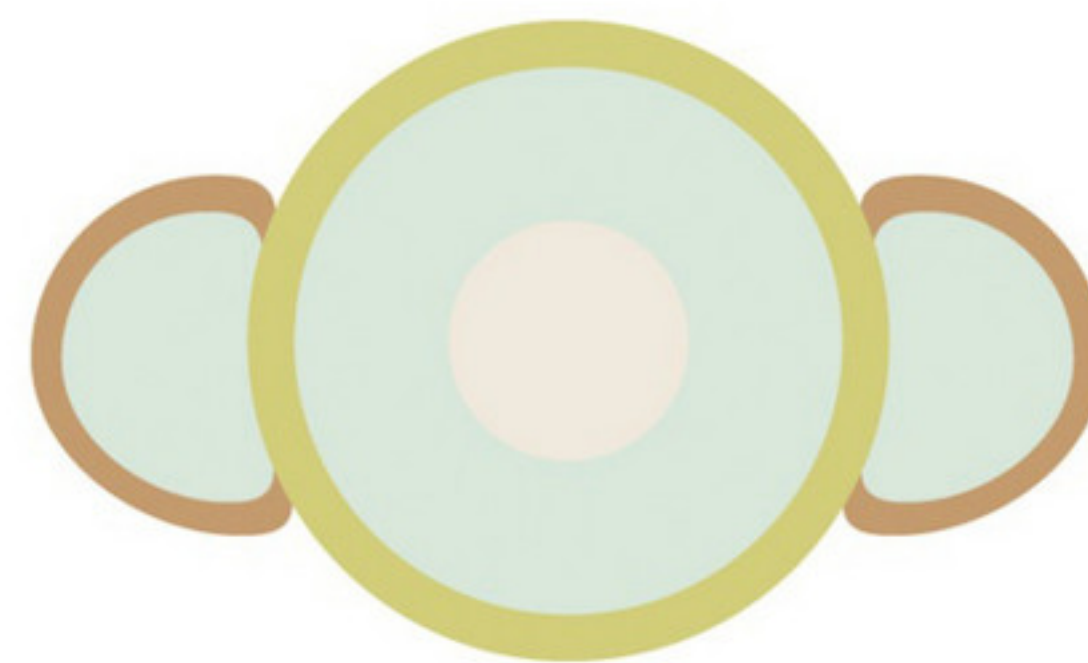
▼ **Afb. 19** Doorsneden van een tak maken.



opdrachten

- 20** Een leerling werkt met een microscoop. De leerling kan kiezen uit een oculair van 5× of van 10×. Aan deze microscoop zitten drie objectieven die 4×, 10× en 40× vergroten.
Bij welke vergrotingen kan deze leerling een preparaat bekijken?
- 21** Een leerling bekijkt een amoebe met een microscoop (zie afbeelding 18). Het objectglaasje bevat een schaalverdeling. De leerling maakt een tekening van de amoebe.
Op zijn tekening is de amoebe 9 cm groot. Ieder streepje op de schaalverdeling is 10 μm.
Bereken de werkelijke vergroting van de afbeelding.
- 22** In afbeelding 19 zie je drie manieren waarop je een doorsnede van een tak kunt maken.
- Welke manier levert een lengtedoorsnede op?
 - Is in afbeelding 20 een dwarsdoorsnede of een lengtedoorsnede van een tak getekend?
 - Welke manier van snijden van afbeelding 19 levert de doorsnede van afbeelding 20 op?

▼ **Afb. 20** Een doorsnede van een tak.



opdracht

- 23 Tussen dierlijke en plantaardige cellen bestaan verschillen. Maak een schema waarin je aangeeft welke organellen aanwezig zijn bij dierlijke cellen en welke aanwezig zijn of aanwezig kunnen zijn bij plantaardige cellen.

ELEKTRONENMICROSCOPEN

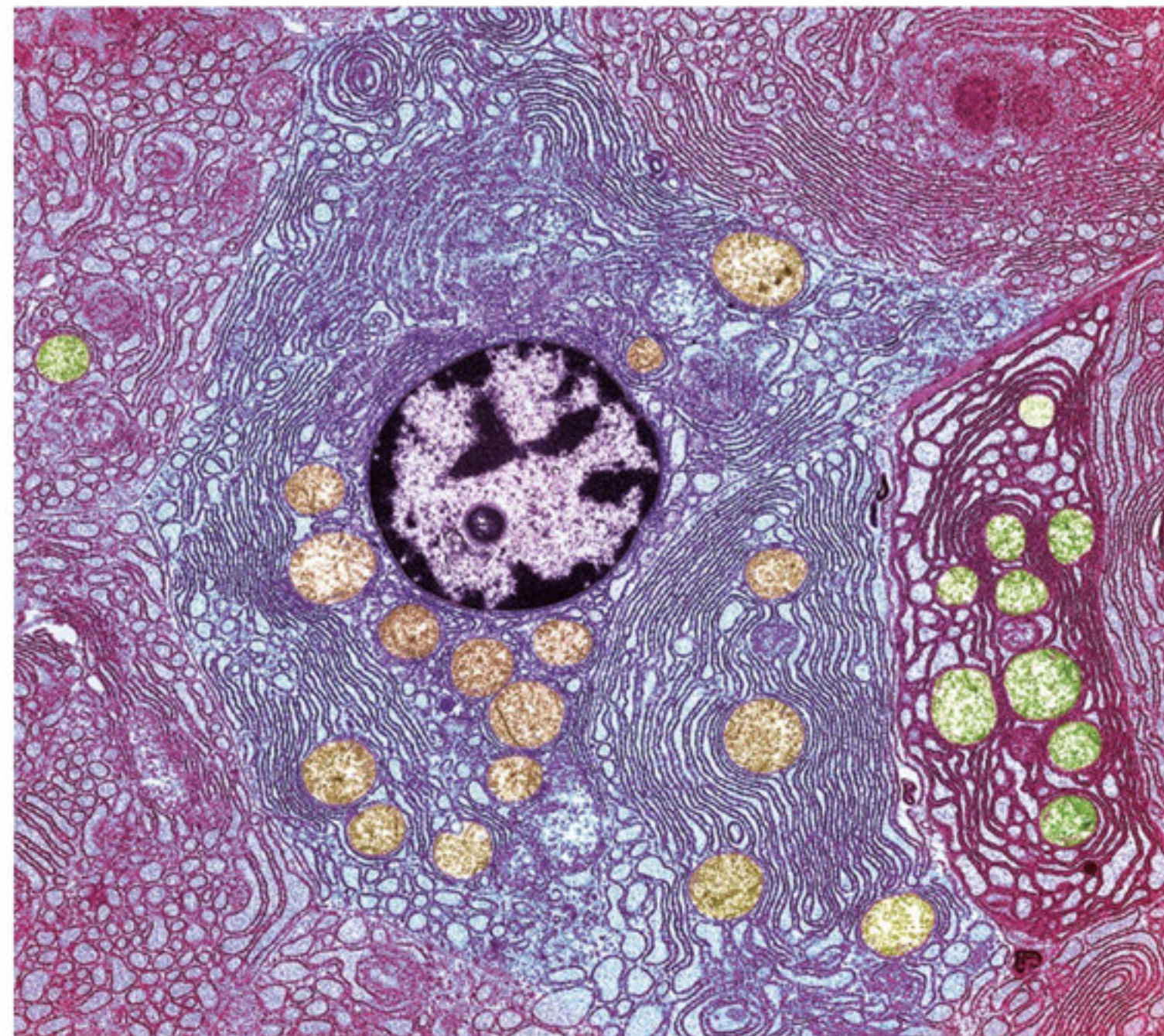
In cellen komen delen voor die met een lichtmicroscop niet zichtbaar zijn. Om deze delen te bekijken, gebruik je een elektronenmicroscop (zie afbeelding 21). Hierbij wordt een elektronenbundel op het object gericht. Bij een **transmissie-elektronenmicroscop** of TEM gaat de elektronenbundel, net als licht bij een lichtmicroscop, door het object. Onder in de microscoop ontstaat op een speciaal scherm een beeld van het object. Een andere methode is om een object af te tasten met een elektronenbundel. Het object weerkaatst de elektronen waardoor een beeld ontstaat. Dit gebeurt met een **scanning elektronenmicroscop** of SEM. Bij een transmissie-elektronenmicroscop en een lichtmicroscop krijgt het beeld geen diepte. Het beeld bij een scanning elektronenmicroscop heeft wel diepte (zie afbeelding 22).

Elektronenmicroscopen zijn aangesloten op computers. De computer bewerkt de beelden en toont ze op een beeldscherm. Vaak zijn de beelden ingekleurd waardoor bepaalde structuren beter zichtbaar zijn.

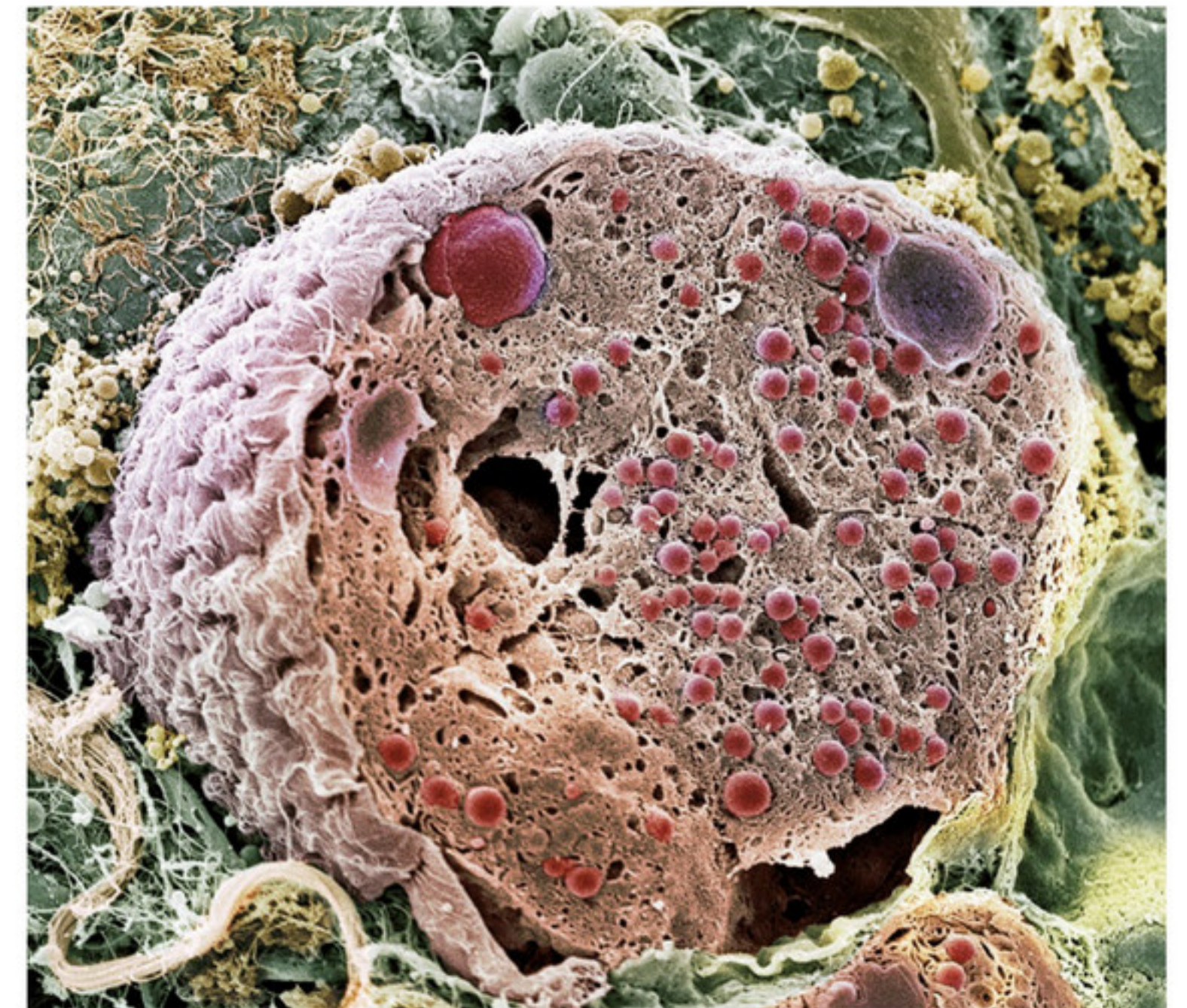
▼ **Afb. 21** Een elektronenmicroscop.



► **Afb. 22** Elektronenmicroscopische foto's.



1 cel van de alvleesklier (TEM, 2500x), gekleurd



2 cel van de alvleesklier (SEM, 2200x), gekleurd

opdrachten

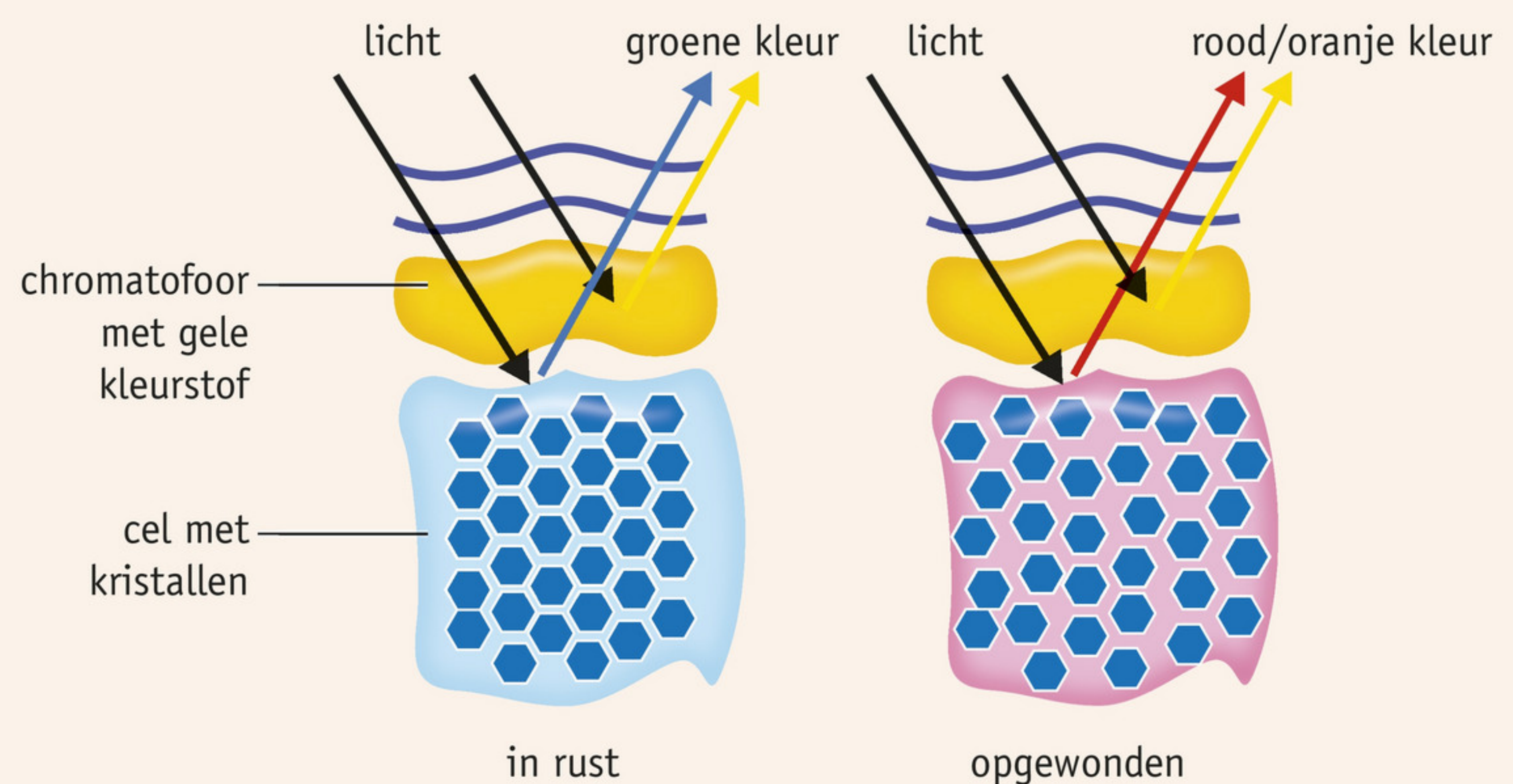
- 24 De kleuren op veel afbeeldingen van elektronenmicroscopische foto's komen niet overeen met de werkelijkheid. Welk voordeel hebben de kleuren voor de onderzoekers?
- 25 Een onderzoeker wil de vorm van bacteriën onderzoeken. Maakt hij dan gebruik van een TEM of van een SEM? Licht je antwoord toe.

Kleur bekennen

Planten hebben kleur door kleurstoffen in de chloroplasten, chromoplasten of vacuolen van hun cellen. De kleurstoffen maken fotosynthese mogelijk of zorgen ervoor dat een plant aantrekkelijk is voor andere organismen. Dieren hebben ook cellen die kleurstoffen bevatten: de chromatoforen. Ze geven kleur aan cellen in de huid, ogen, haren, veren of vacht.

Bij een dier kunnen kleuren dienen als camouflage. Ook kunnen dieren met hun kleuren signalen aan elkaar geven, bijvoorbeeld in de voortplantingstijd. De kleurstof (of pigment) in de huid van zoogdieren en vogels heet melanine. Het beschermt de huid tegen de schadelijke werking van ultraviolette straling. Sommige inktvissen, hagedissen en vissen kunnen van kleur veranderen. Dat gebeurt onder andere doordat chromatoforen met een bepaalde kleur krimpen en die met een andere kleur juist uitzetten. Door het krimpen verdwijnt of vervaagt een kleur. De kleur is weer zichtbaar wanneer een chromatofoor uitzet. Een panterkameleon heeft onder de laag chromatoforen in zijn huid nog een laag cellen met hele kleine kristallen. Wanneer de positie van de kristallen in deze cellen verandert, reflecteren de cellen een andere kleur licht (zie afbeelding 23).

▼ **Afb. 23** Kleurverandering bij de panterkameleon.



opdrachten

- 26 Kleurstoffen in planten kunnen een plant of een deel van een plant aantrekkelijker maken voor andere organismen.
 - a Noem hiervan twee voorbeelden.
 - b Geef een voorbeeld van de signaalfunctie van kleuren bij een diersoort in voortplantingstijd.
- 27 De panterkameleon heeft in de bovenste laag van zijn huid chromatoforen met gele kleurstof. In rust liggen de kristallen in de cellen daaronder dicht tegen elkaar. Ze reflecteren dan blauw licht (zie afbeelding 23).
 - a Welke kleur heeft de huid van een panterkameleon in rust? Leg je antwoord uit.
 - b Leg uit in wat voor omgeving een panterkameleon waarschijnlijk rust.
 - c Wat is de kleur van een panterkameleon als hij opgewonden is?

Leerdoelen

- Je kunt een cel beschrijven als een zelfstandig functionerende biologische eenheid.
- Je kunt de bouw en functie van het cytoskelet van cellen beschrijven.

4 Celorganellen

Dat het in een cel een levendige boel is, kun je op afbeeldingen niet zien. In een cel liggen de celorganellen niet op een vaste plaats. Ze bewegen continu en er is interactie met andere organellen.

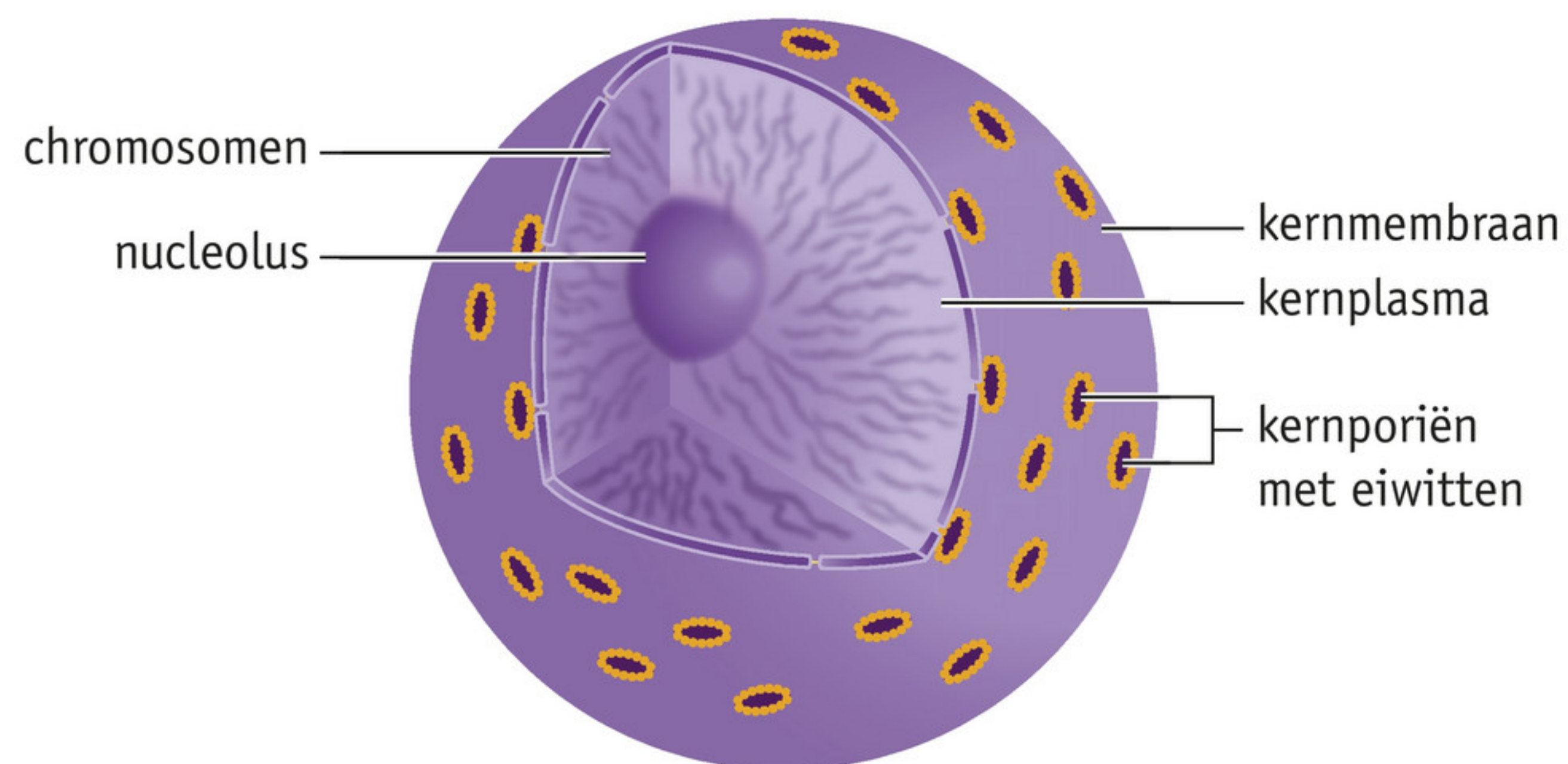
CELKERN

De celkern, vacuolen en plastiden zijn relatief grote organellen die met een lichtmicroscop meestal goed zichtbaar zijn. Wanneer je ze met een elektronenmicroscop bekijkt, zie je meer eigenschappen van deze organellen. Ook zie je dan dat er andere organellen in de cel aanwezig zijn.

De kern is omgeven door het kernmembraan en bevat **kernplasma** (zie afbeelding 24). In het kernplasma liggen **chromosomen**. Deze bestaan uit lange moleculen DNA die rond een aantal eiwitten zijn gewikkeld. Het DNA bevat informatie over de erfelijke eigenschappen van een organisme. Het bepaalt bijvoorbeeld de bouw en functie van een cel. Voordat een cel zich gaat delen, wordt het DNA in de chromosomen gekopieerd. Elke nieuwe cel ontvangt daardoor na de deling dezelfde set chromosomen. Als je vlak voor de deling met een lichtmicroscop in de kern kijkt, zie je de chromosomen. Dat komt omdat het DNA zich dan nog meer op gaat rollen.

In het kernplasma kun je de **nucleolus** onderscheiden. Dit is de plaats waar delen van ribosomen worden gemaakt. Deze delen verlaten de celkern via de **kernporiën** in het kernmembraan en vormen ribosomen in het cytoplasma. Een kernporie is een opening in het kernmembraan met eiwitten die het transport van stoffen in en uit het kernplasma regelen.

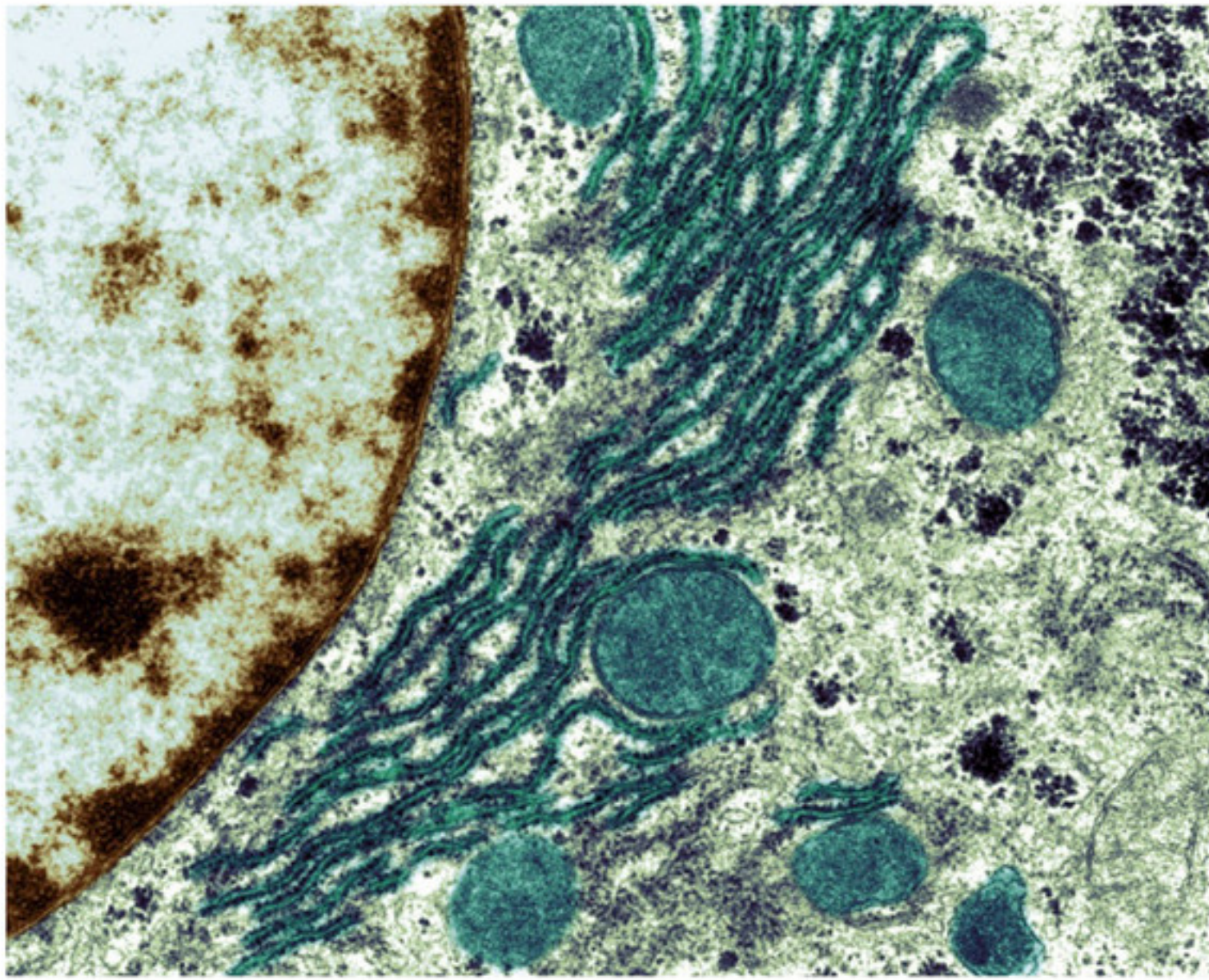
► **Afb. 24** De celkern (schematische tekening).



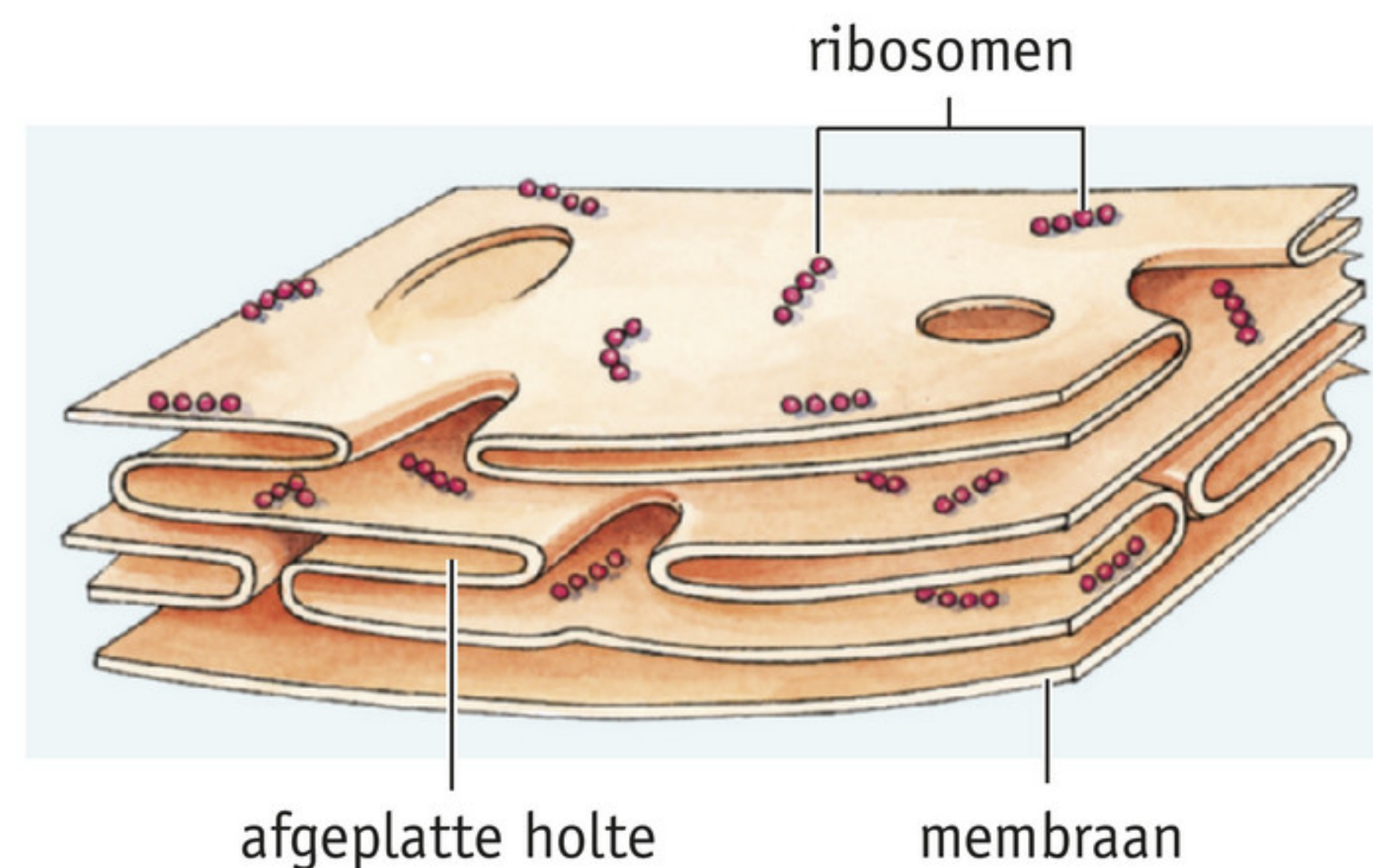
ENDOPLASMATISCH RETICULUM EN GOLGISYSTEEM

In het cytoplasma bevindt zich een uitgebreid netwerk van dubbele membranen dat is aangesloten op het kernmembraan. Dit heet het **endoplasmatisch reticulum**. De membranen liggen bijna tegen elkaar aan en vormen afgeplatte holten en kanaaltjes (zie afbeelding 25). De ruimten tussen de membranen staan met elkaar in verbinding. Er zijn twee typen endoplasmatisch reticulum: ruw en glad. Op de membranen van ruw endoplasmatisch reticulum (RER) bevinden zich **ribosomen**. Dat zijn kleine bolvormige organellen die eiwitten produceren (eiwitsynthese). Ribosomen komen ook vrij in het cytoplasma voor. Ribosomen op het ruw endoplasmatisch reticulum geven de eiwitten af in de holten van de membranen. De eiwitten worden in blaasjes verder getransporteerd voor bewerking. Deze blaasjes worden door het endoplasmatisch reticulum van

▼ **Afb. 25** Endoplasmatisch reticulum met ribosomen.



1 elektronenmicroscopische foto (TEM, 11 000x)

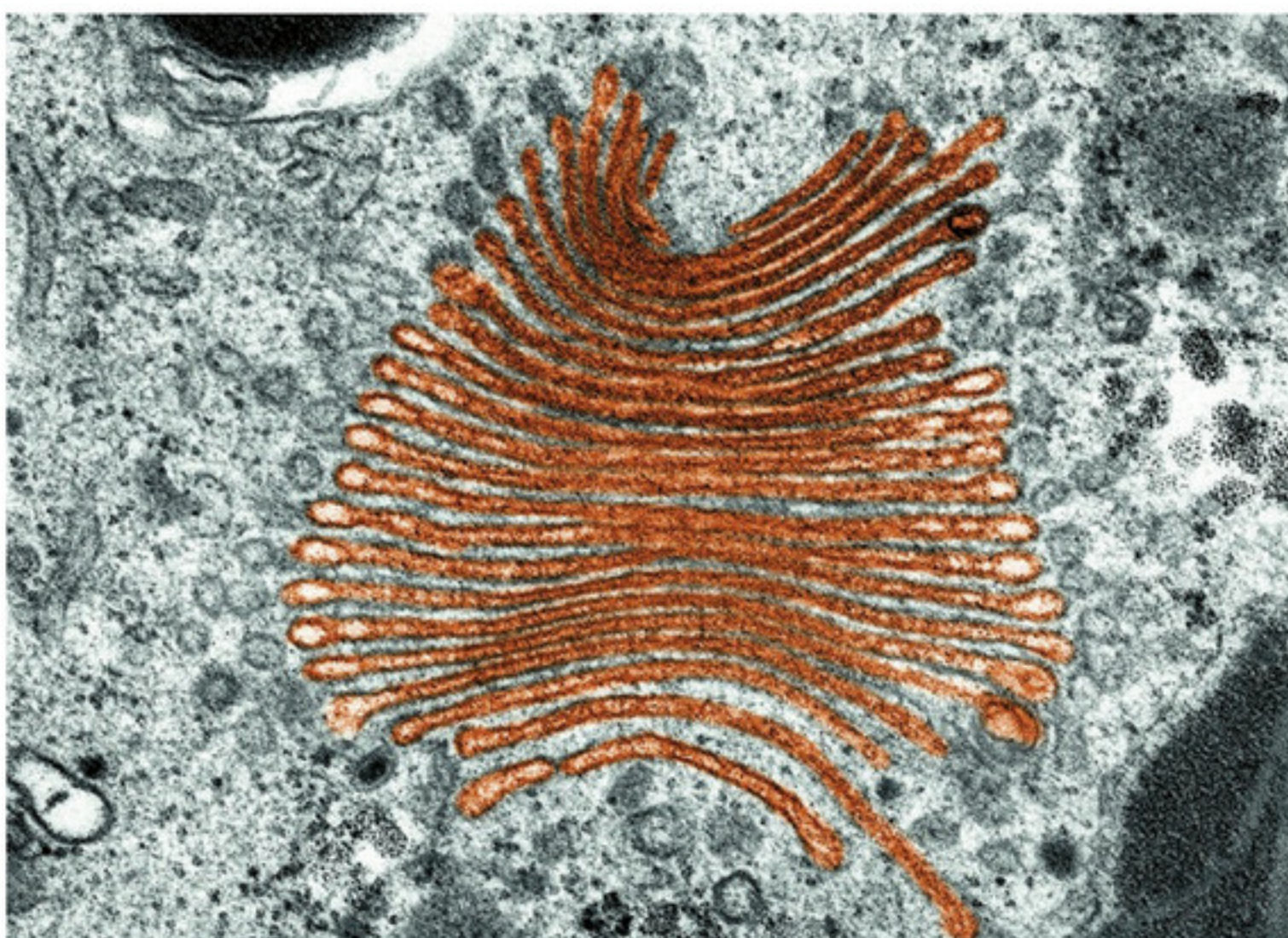


2 schematische tekening

de membranen afgesnoerd. Het ruw endoplasmatisch reticulum maakt meer membraan om het afsnoeren van blaasjes mogelijk te maken.

Glad endoplasmatisch reticulum (GER) heeft geen ribosomen. De functie ervan verschilt per celtype. In bepaalde cellen kan het glad endoplasmatisch reticulum vetten of hormonen maken. In levercellen maakt het giftige stoffen onschadelijk.

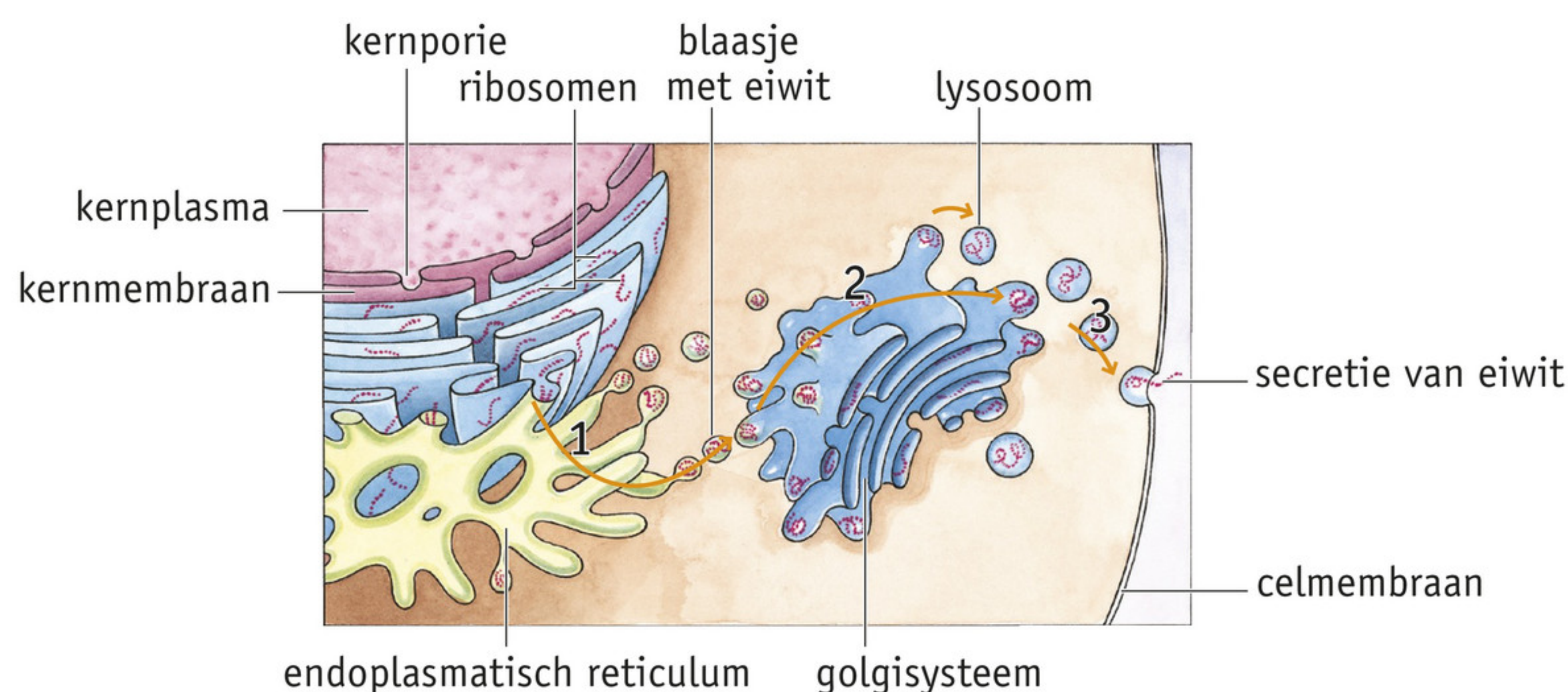
▼ **Afb. 26** Een stapel membranen van het golgisysteem (TEM, gekleurd, 7000x).



De eiwitmoleculen in de blaasjes die het ruw endoplasmatisch reticulum afsnoert, hebben nog niet de uiteindelijke vorm. Dat gebeurt in het **golgisysteem**. Het golgisysteem bestaat uit opeengestapelde platte membranen in het cytoplasma van de cel (zie afbeelding 26). Het golgisysteem neemt deze blaasjes op en bewerkt de eiwitmoleculen totdat ze hun definitieve vorm hebben. Dan snoert het golgisysteem de eiwitten in blaasjes af.

Sommige blaasjes versmelten vervolgens met het celmembraan en geven de eiwitten buiten de cel af. Het afsnoeren van blaasjes door het celmembraan om stoffen naar buiten de cel te transporteren, noem je **exocytose**. Het afgeven van stoffen door cellen noem je **secretie**. In cellen van klieren (zoals een speekselklier) en in cellen van slijmvlies vindt veel secretie plaats. Andere blaasjes die van het golgisysteem afsnoeren, blijven in de cel, zoals **lysosomen**. De eiwitten in lysosomen zijn enzymen. Enzymen kunnen stoffen afbreken. Wanneer lysosomen samensmelten met blaasjes met voedingsstoffen of afvalstoffen, verteren de enzymen deze stoffen. Vervolgens worden de stoffen in de cel gebruikt of uitgescheiden. In afbeelding 27 zie je de processen van eiwitsynthese tot secretie schematisch weergegeven.

▼ **Afb. 27** Van eiwitsynthese tot secretie.

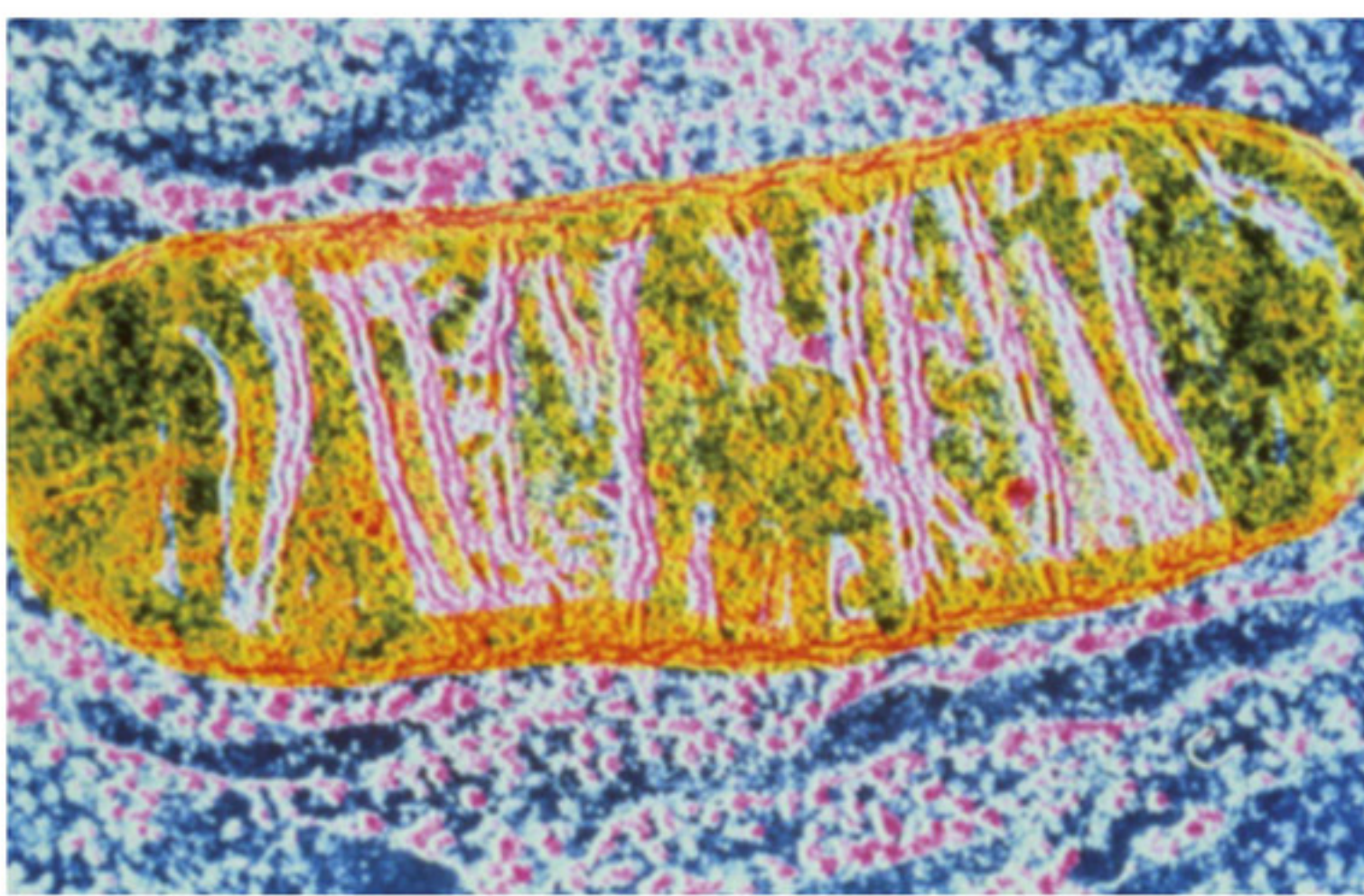


- 1 Van het ruw endoplasmatisch reticulum snoeren zich blaasjes af.
- 2 In het golgisysteem krijgen de eiwitmoleculen hun uiteindelijke vorm.
- 3 Van het golgisysteem snoeren zich blaasjes af, waarna secretie van eiwitten kan plaatsvinden.

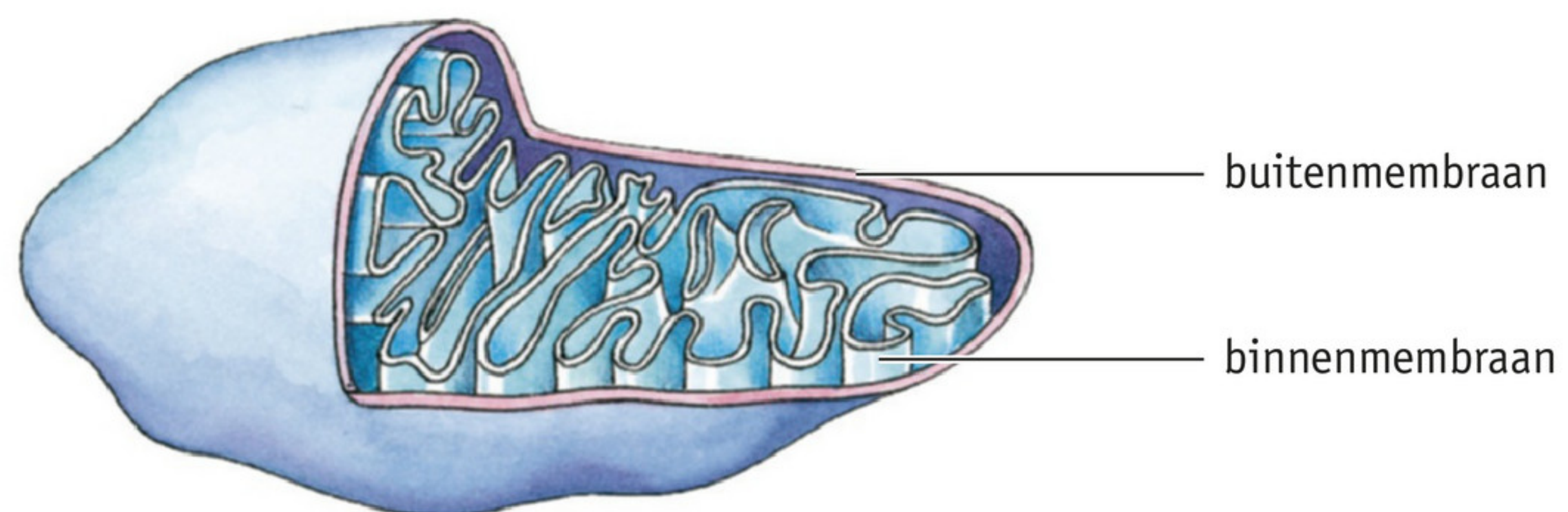
MITOCHONDRIËN EN CHLOROPLASTEN

Mitochondriën (enkelvoud: mitochondrium) zijn bolvormige organellen. Ze hebben dubbele membranen waarvan het binnenmembraan sterk geplooid is (zie afbeelding 28). In het cytoplasma van mitochondriën worden eiwitten, vetten en koolhydraten zoals glucose afgebroken. Voor deze afbraak is zuurstof nodig en er komt energie bij vrij. De vrijgemaakte energie wordt tijdelijk opgeslagen in moleculen van de stof **ATP** (adenosinetriphosfaat). ATP is de belangrijkste energieleverancier voor processen in de cel. De ATP-moleculen kunnen vanuit het mitochondrium naar het cytoplasma. Als ergens in de cel energie nodig is, wordt die vrijgemaakt uit de ATP-moleculen. De enzymen die nodig zijn voor de productie van ATP liggen in het binnenmembraan van het mitochondrium. Door de plooiing van het binnenmembraan is het oppervlak daarvan wel 5× zo groot als van het buitenmembraan. Hierdoor is er veel ruimte voor enzymen. Het aantal mitochondriën in een cel is afhankelijk van de activiteit van de cel.

▼ **Afb. 28** Een mitochondrium.



1 elektronenmicroscopische foto (TEM, 37 000×)



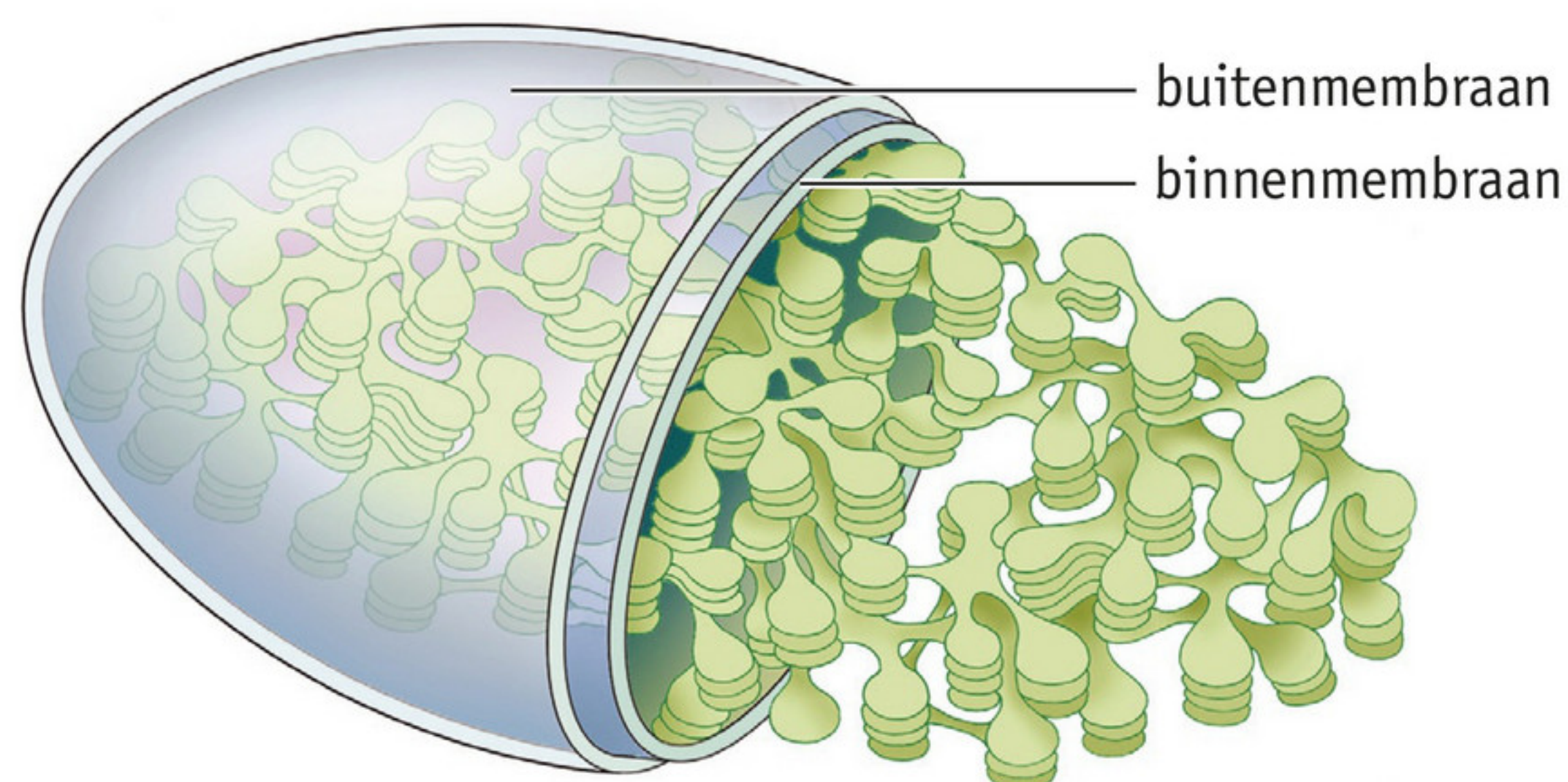
2 schematische tekening

Bij fotosynthese zetten de chloroplasten in plantaardige cellen lichtenergie van de zon om in glucose. Ze bezitten net als mitochondriën een dubbel membraan (zie afbeelding 29). Binnenin bevinden zich membranen die een soort platte blaasjes vormen met daartussen verbindingen. De platte blaasjes lijken gerangschikt te liggen als stapels munten. In deze membranen liggen de enzymen voor de fotosynthese.

▼ **Afb. 29** Een chloroplast.



1 elektronenmicroscopische foto (TEM, 16 000×)

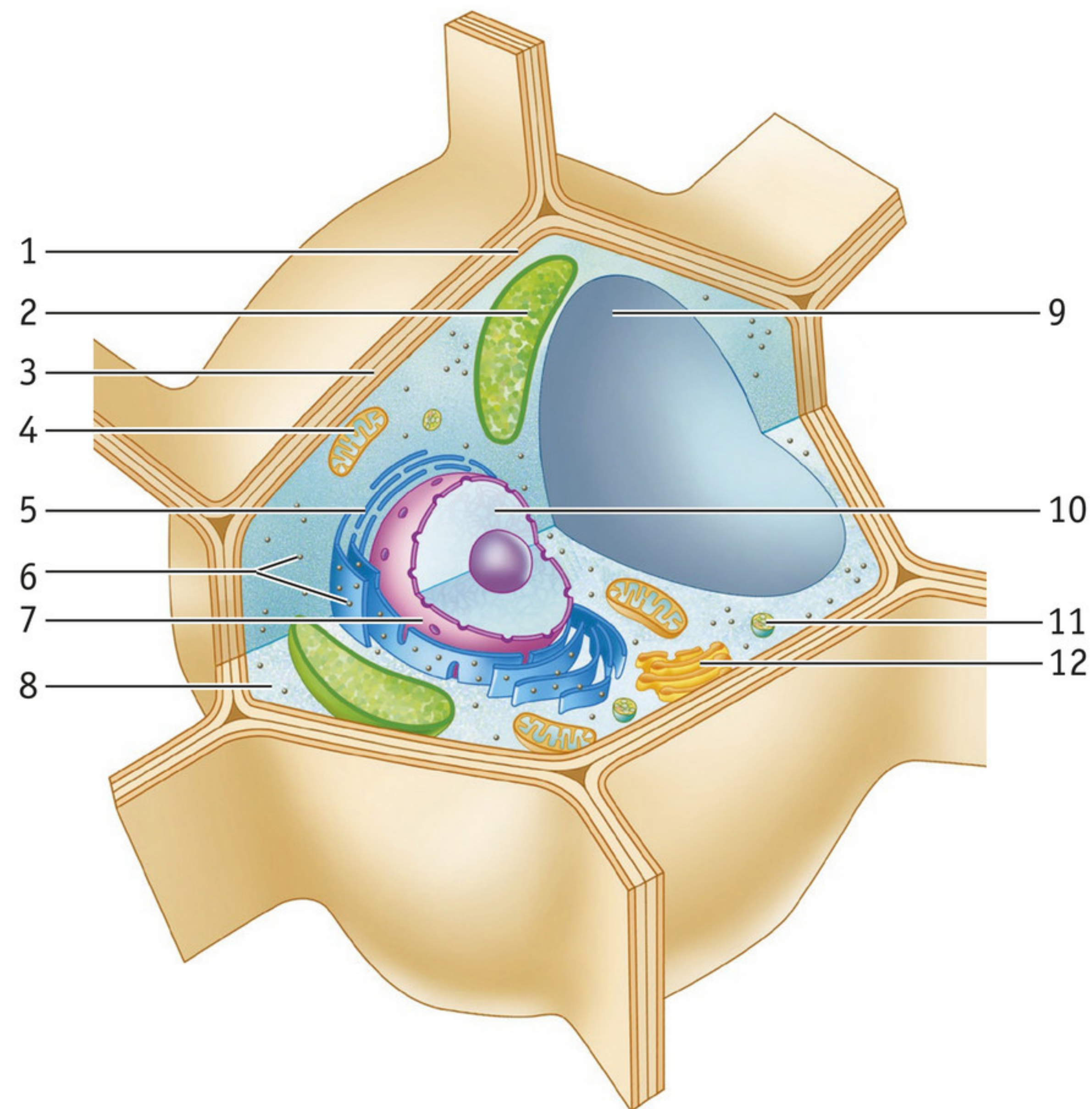


2 schematische tekening

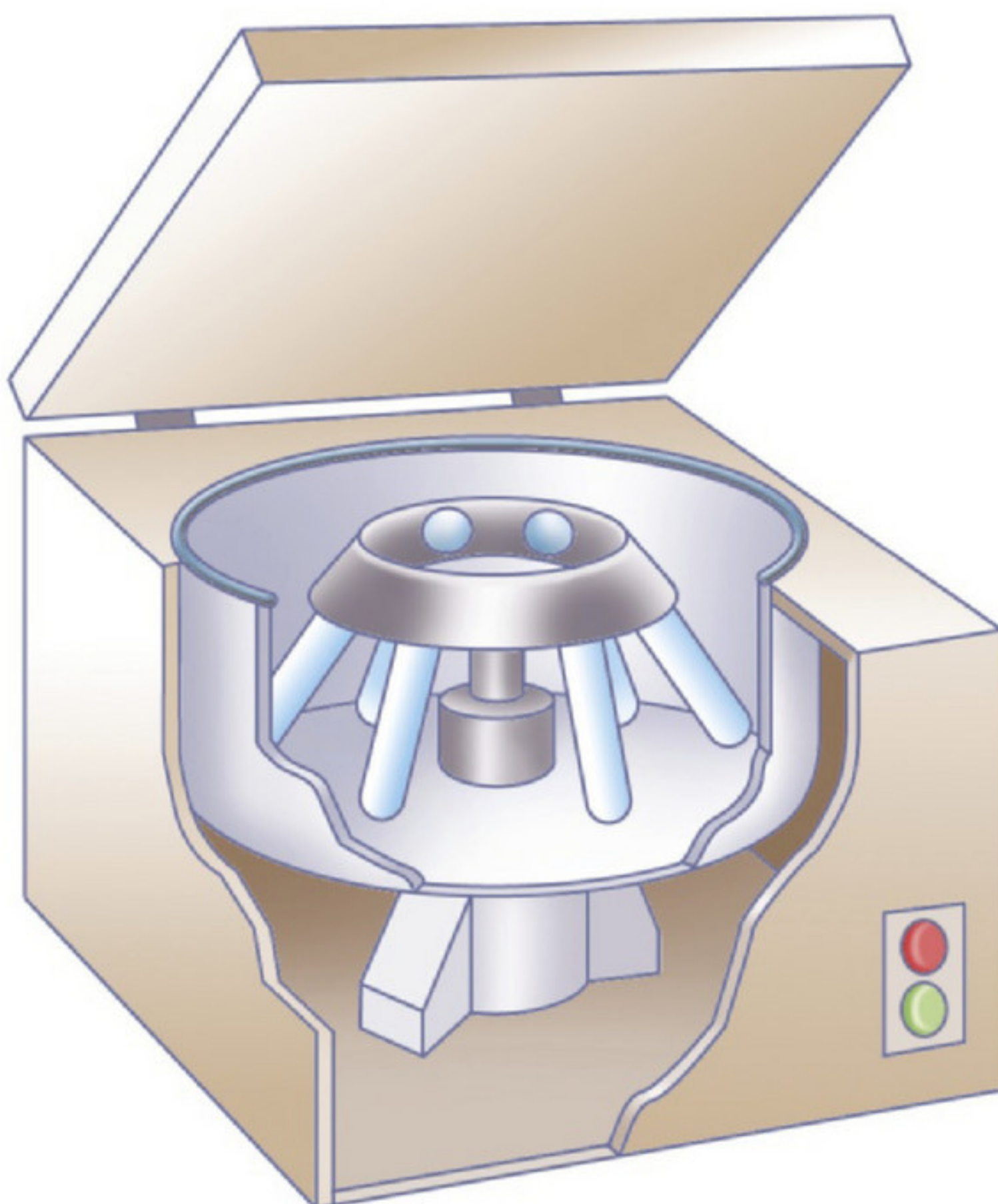
opdrachten

- 28** In afbeelding 30 zie je een schematische tekening van een plantaardige cel.
- Noteer de namen en functies van de genummerde delen. Bij de nummers 8 en 10 is het niet nodig om de functie te vermelden.
 - Aan welke drie delen kun je zien dat afbeelding 30 een plantaardige cel voorstelt?
- 29** Het DNA in een cel van een mens heeft bij elkaar een lengte van meer dan 2 meter.
Leg uit waarom het DNA is verdeeld over chromosomen.

► **Afb. 30** Een plantaardige cel.

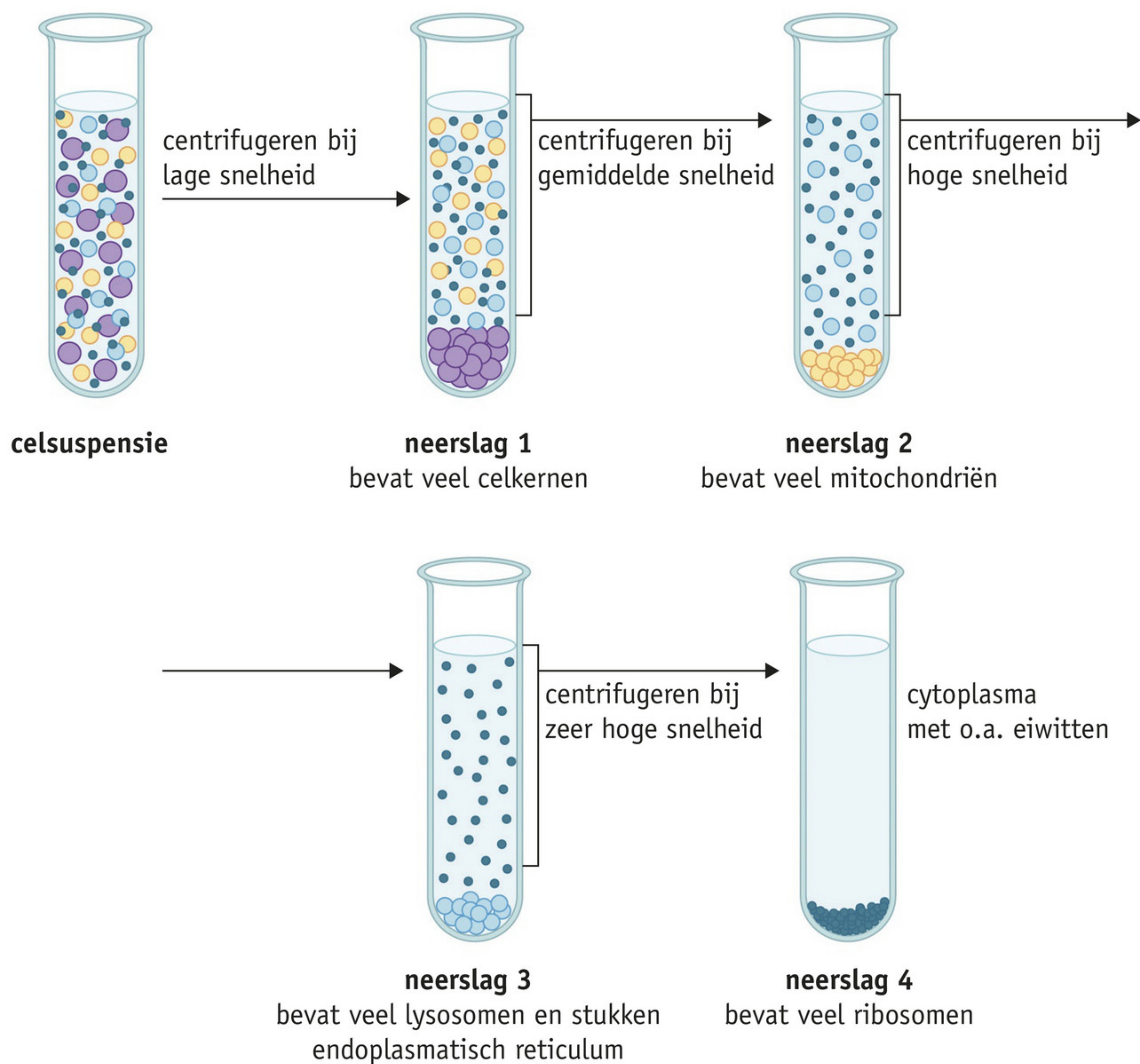


▼ **Afb. 31** Een centrifuge voor celfractionering.



- 30** Celorganellen in een cel verschillen in grootte en in massa. Het verschil in massa kun je gebruiken om delen van cellen van elkaar te scheiden. Daarvoor maak je cellen van een weefsel los van elkaar en maak je de celmembranen kapot. Je krijgt dan een mengsel met alle vaste delen van de cellen. Het mengsel gaat in een centrifuge (zie afbeelding 31). Bij lage snelheid ontstaat een neerslag van de grootste celorganellen. De bovenste vloeistof gebruik je voor de volgende stap waarbij de centrifuge sneller draait. Dit herhaal je tot ook de kleinste celorganellen neerslaan. Het resultaat zie je in afbeelding 32.
- Een student wil onderzoek doen naar de enzymen die nodig zijn bij het beschikbaar maken van energie.
Welke neerslag van de celfractionering zal hij voor zijn onderzoek gebruiken (zie afbeelding 32)? Leg je antwoord uit.
 - Een andere student wil het transport van eiwitten in de cel bestuderen.
Welke neerslag bevat de meeste delen die daarbij een rol spelen? Leg je antwoord uit.
 - Neerslag 4 kan bijvoorbeeld worden gebruikt om de productie van bepaalde stoffen te onderzoeken.
Welke stoffen?

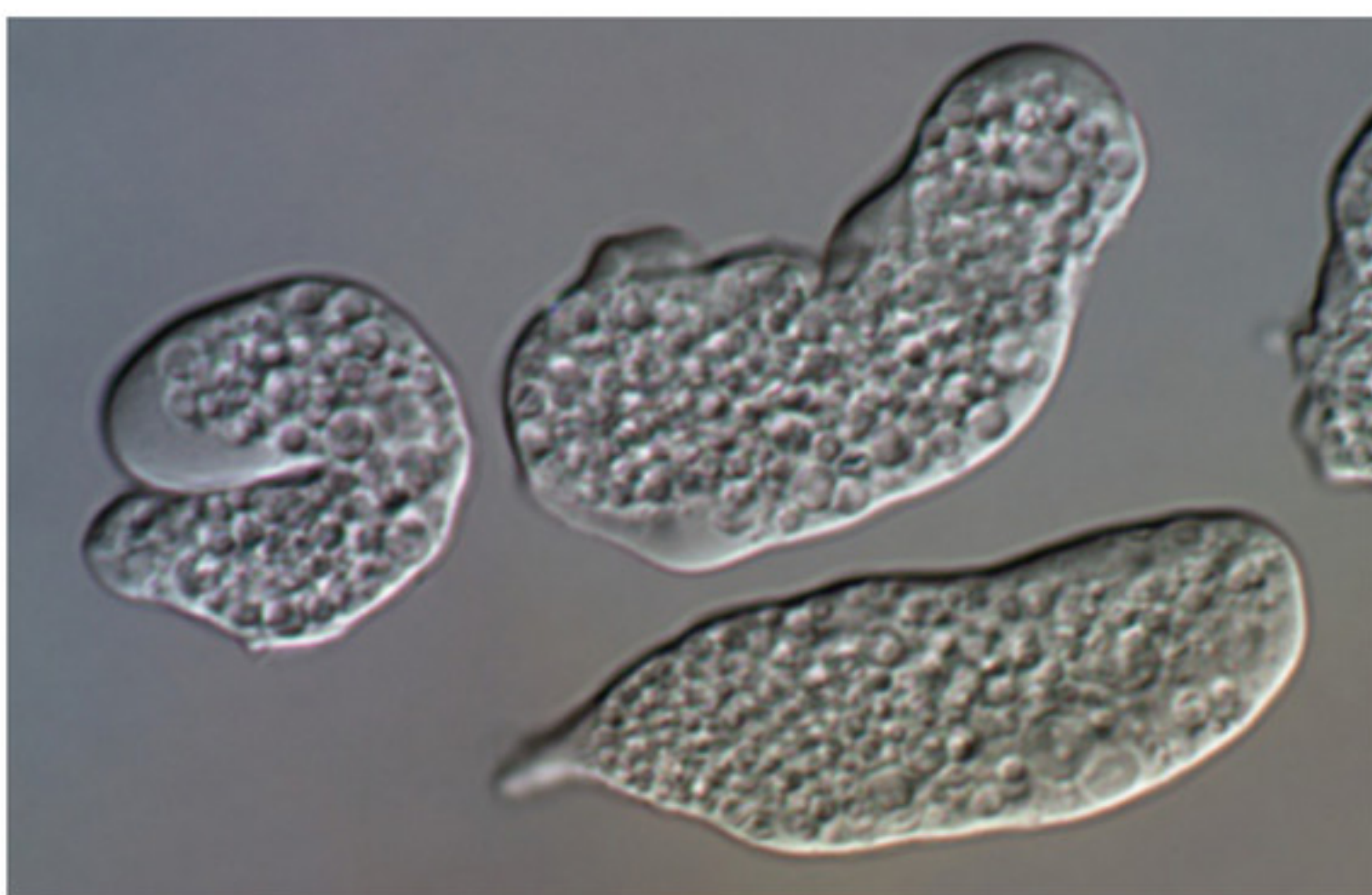
▼ **Afb. 32** Het resultaat van het centrifugeren na celfractionering.



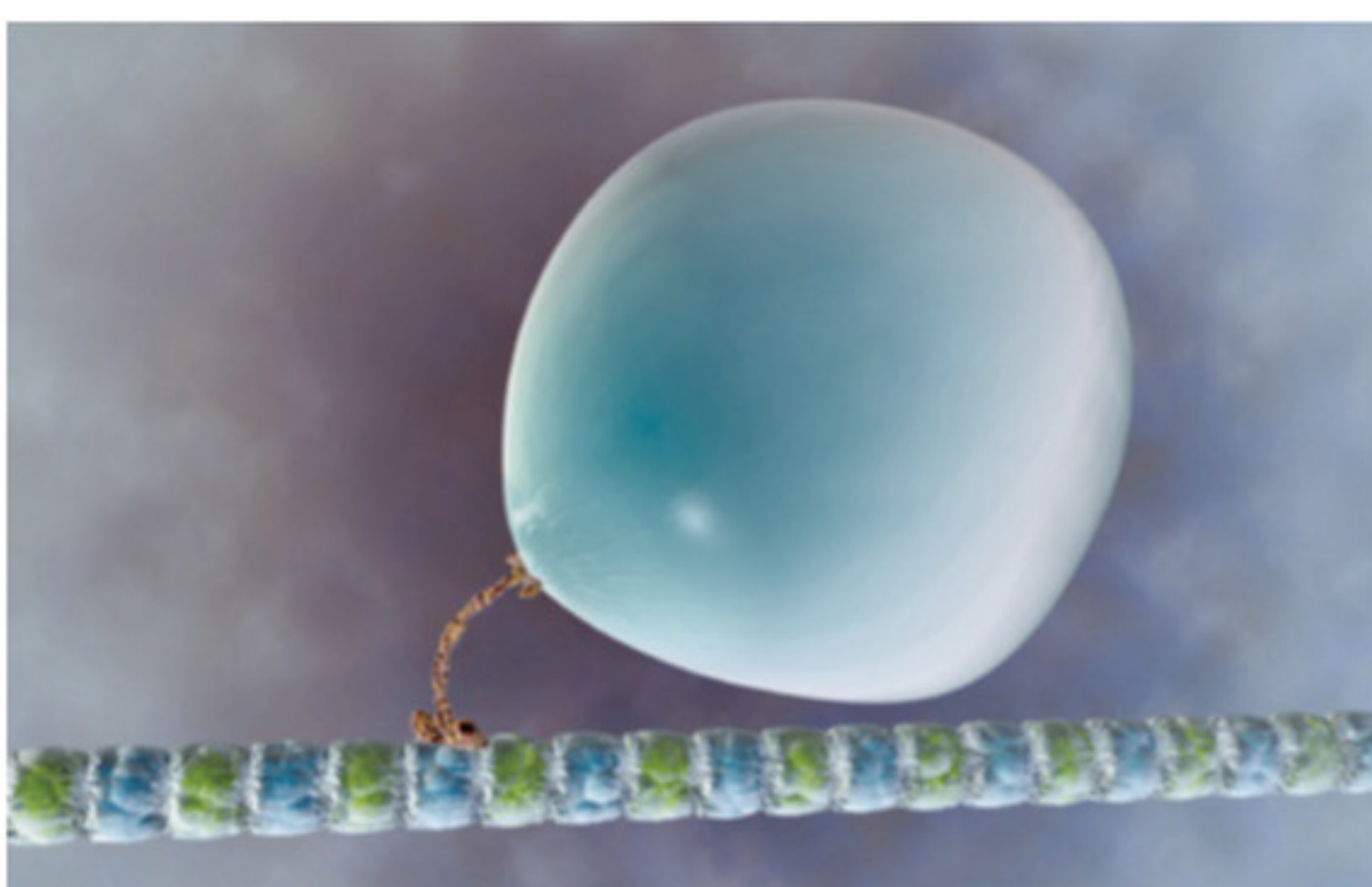
d In afbeelding 32 is niet aangegeven in welke neerslag het golgisysteem kan worden aangetroffen.

Beredeneer op grond van de bouw van het golgisysteem, in welke neerslag je delen van het golgisysteem verwacht aan te treffen.

▼ **Afb. 33** Enkele amoeben.



▼ **Afb. 34** Een motoreiwit verplaatst zich langs het cytoskelet.

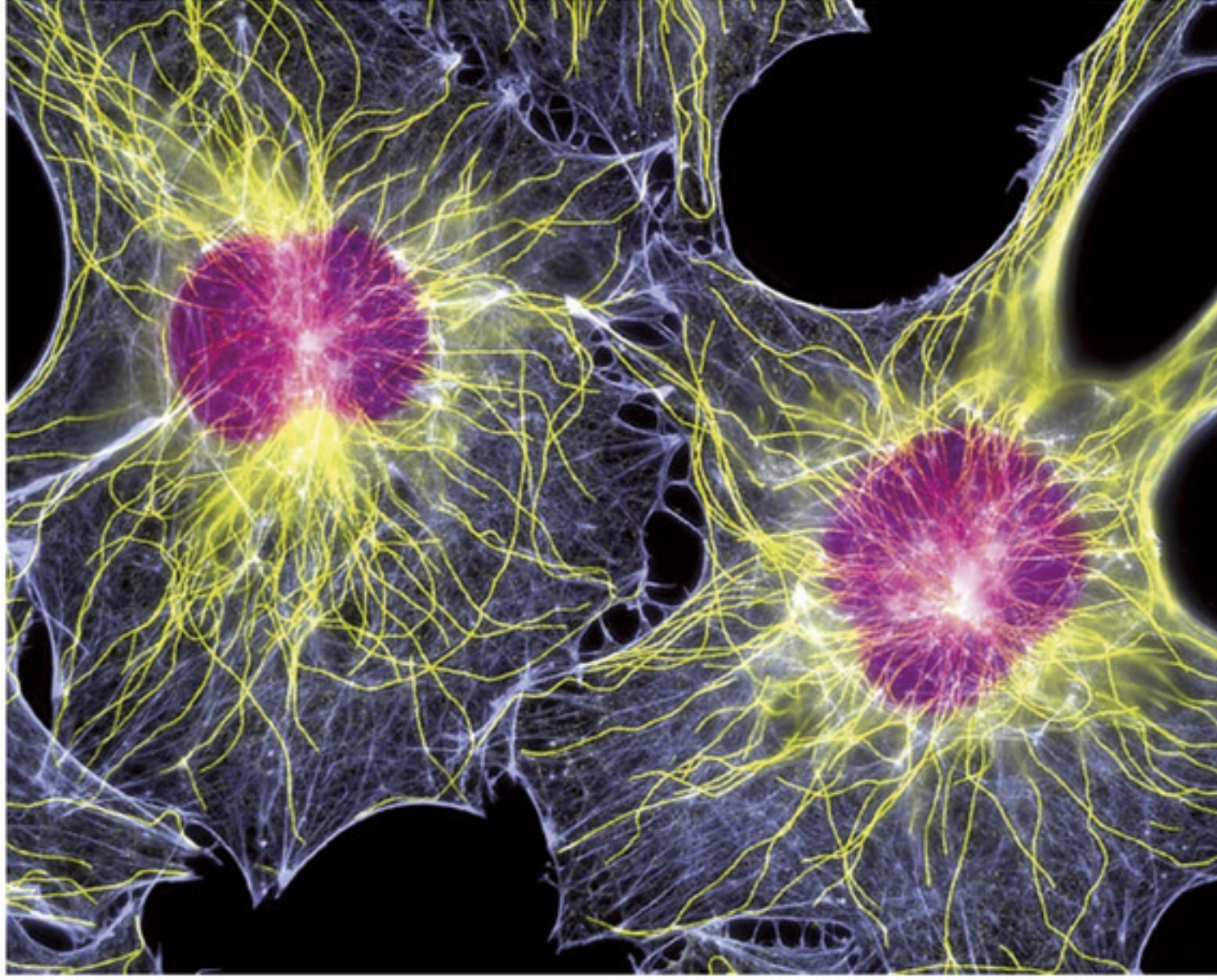


- 31** Amylase is een enzym dat zetmeel afbreekt. Cellen in de speekselklieren produceren amylase en geven het via een afvoerbuisje af. Verschillende delen van een cel spelen een rol bij de productie van amylase.
- Welke delen van een cel hebben een functie bij de productie en afgifte van een enzym? Noteer de delen in de juiste volgorde.
 - Noteer achter ieder deel welke functie het onderdeel heeft.
- 32** Leg uit waarom zaadcellen en spiercellen meer mitochondriën hebben dan andere cellen in het lichaam van de mens.

CYTOSKELET

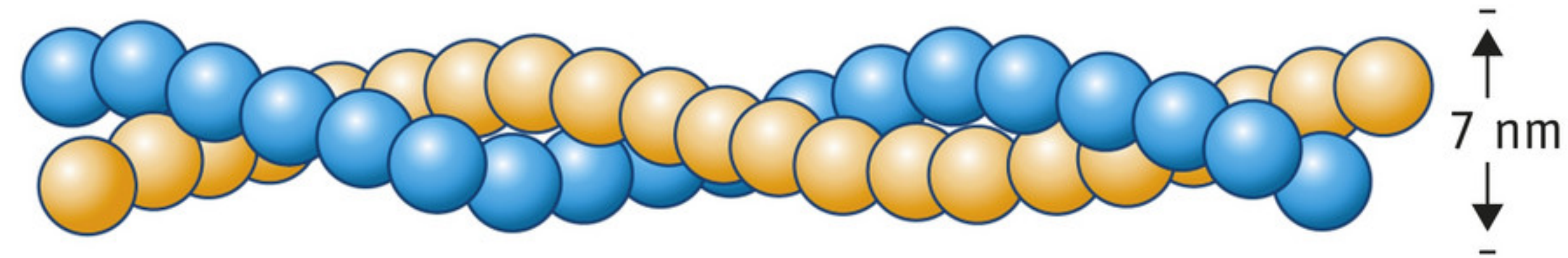
Binnen in cellen bevindt zich een netwerk van eiwitvezels dat het **cytoskelet** heet. Het cytoskelet zorgt ervoor dat de cel zijn vorm behoudt en dat de organellen op hun plaats blijven. Het zorgt er ook voor dat de vorm van een cel verandert of dat een cel zich kan verplaatsen. Het cytoskelet kan net als een amoebe uitstulpingen (schijnvoetjes) vormen, doordat de vezels langer of korter worden. Met die schijnvoetjes kan een amoebe zich voortbewegen (zie afbeelding 33). Speciale eiwitten, de **motoreiwitten**, verplaatsen zich langs het cytoskelet en transporteren daarbij blaasjes en eiwitten (zie afbeelding 34). Een motoreiwit kan zo bijvoorbeeld een lysosoom naar een andere plaats in de cel vervoeren of een organel verplaatsen.

▼ Afb. 35 Cytoskelet.

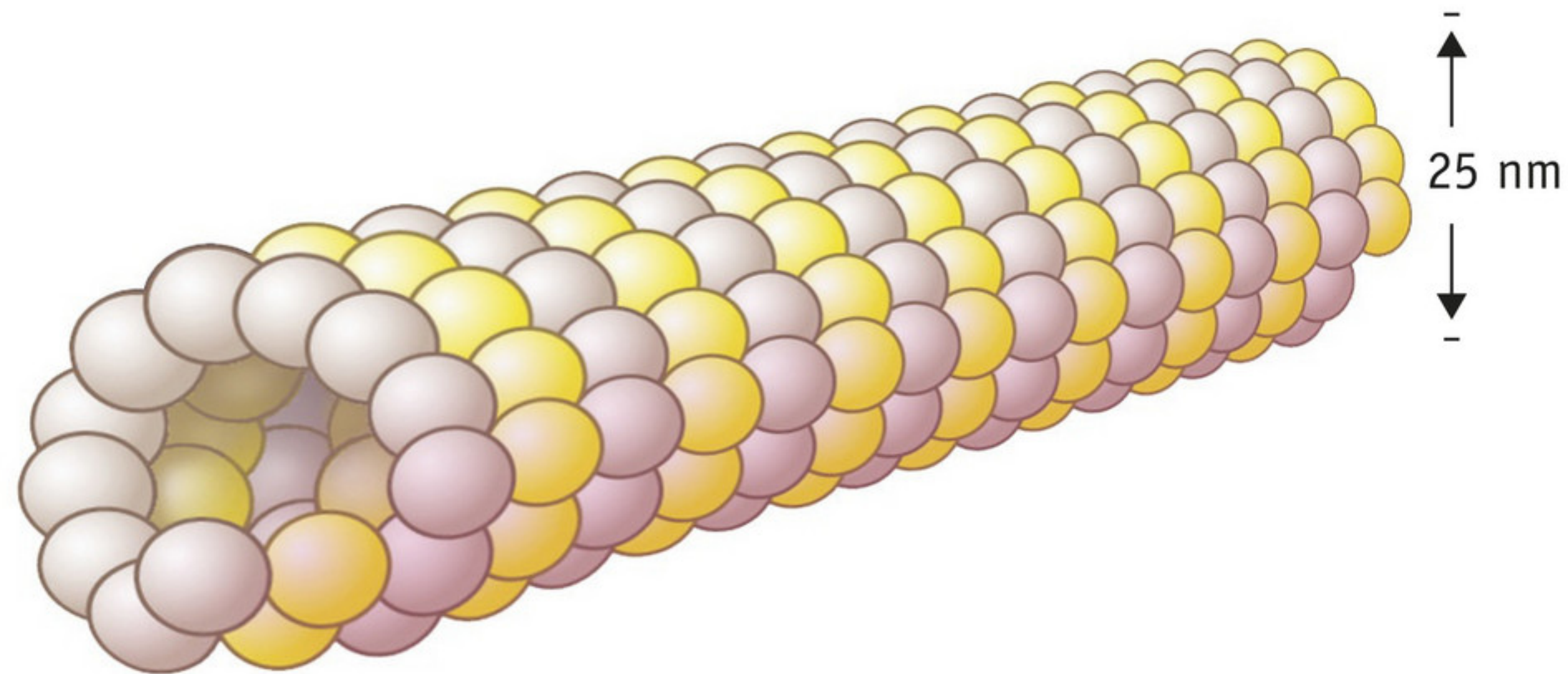


1 Met fluorescerende antistoffen zijn de microtubuli en microfilamenten van het cytoskelet zichtbaar gemaakt.

In het cytoskelet zitten twee soorten vezels: microtubuli en microfilamenten (zie afbeelding 35). **Microtubuli** zijn een soort buisjes gevormd door eiwitten. **Microfilamenten** (actinefilamenten) bestaan ook uit eiwitten. Ze vormen geen buisje maar een gedraaide dubbele draad. Microtubuli en microfilamenten worden voortdurend opgebouwd door eiwitten toe te voegen. Ze worden afgebroken door eiwitten los te laten.



2 microfilament (schematische tekening)



3 microtubulus (schematische tekening)

MEMBRANEN

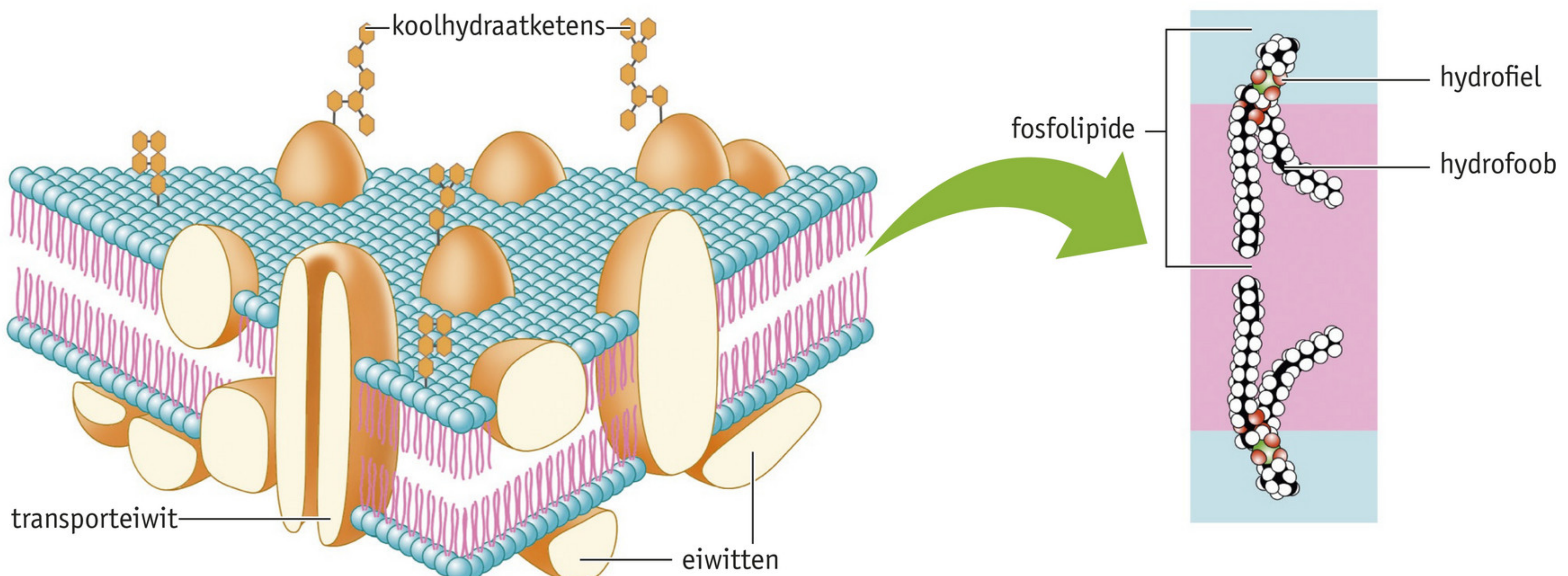
Cellen nemen stoffen uit hun omgeving op en geven stoffen aan hun omgeving af. Deze stoffen passeren hierbij het celmembraan. Ook in de cel passeren stoffen membranen van organellen.

Celmembranen bestaan uit een dubbele laag van **fosfolipiden** (zie afbeelding 36).

Dit zijn vetachtige stoffen. Een fosfolipidemolecuul bestaat aan één kant uit een fosfaatgroep die in water oplosbaar is. In water oplosbaar noem je **hydrofiel**.

De andere kant is waterafstotend of **hydrofoob** en bestaat uit twee lange vetzuurmoleculen. In een membraan trekken de hydrofiel koppen van de fosfolipidemoleculen naar de waterige omgeving toe. De hydrofobe staarten keren zich van water af. De koppen en staarten trekken elkaar aan. Zo ontstaat een dubbele laag van fosfolipiden. De fosfolipiden in een membraan zijn voortdurend in beweging. Een membraan is erg flexibel doordat één van de vetzuurmoleculen van een fosfolipide een knik heeft. Dit is een onverzadigd vetzuurmolecuul. Het andere vetzuurmolecuul is een verzadigd vetzuurmolecuul. Deze is recht.

▼ Afb. 36 De bouw van een membraan.

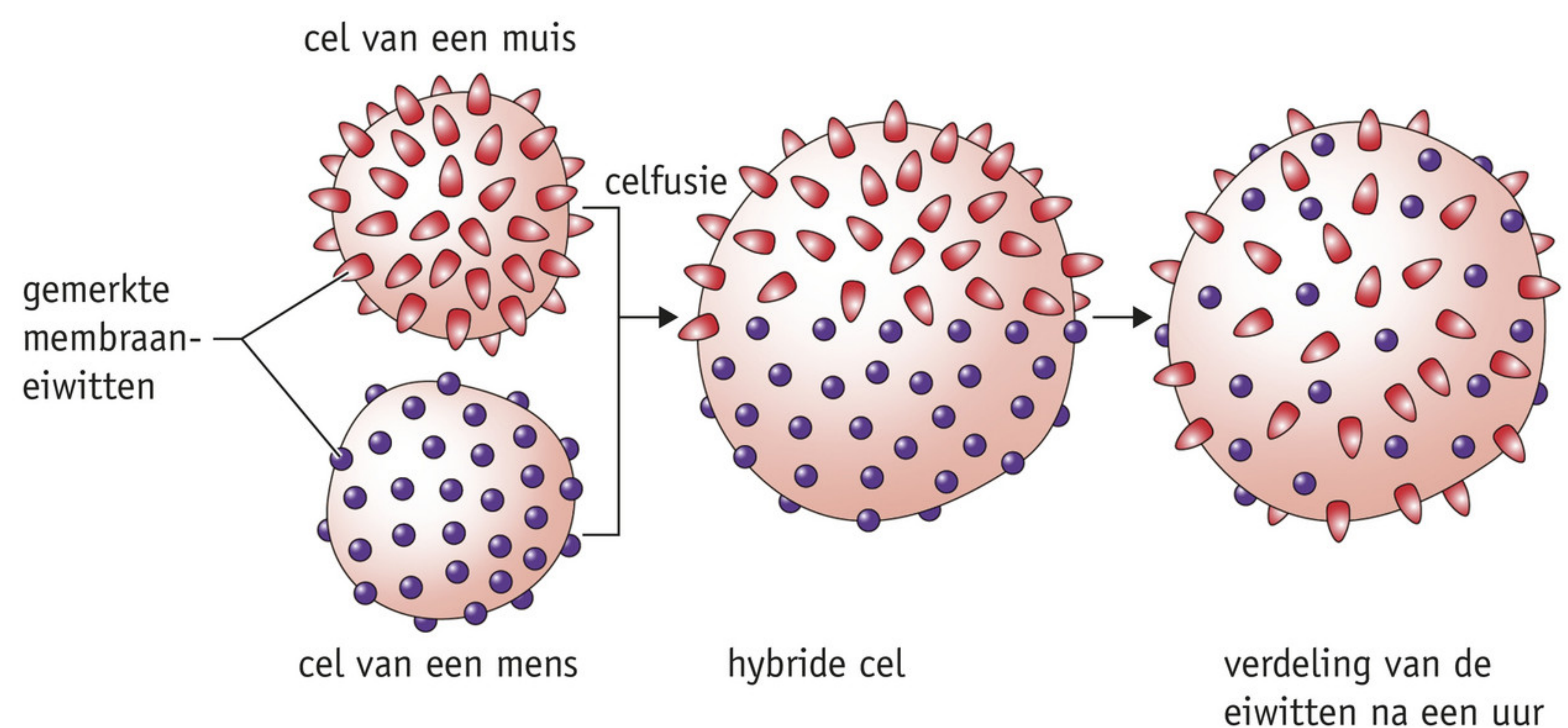


In een celmembraan liggen **membraaneiwitten**. Veel van deze eiwitten spelen een rol bij het transport van stoffen in en uit een cel. Daarnaast zijn er **receptoreiwitten** waaraan, net als aan sommige fosfolipiden, koolhydraatketens zitten (zie afbeelding 36). Die koolhydraatketens spelen een rol bij de herkenning van de cel door eiwitten in het membraan van andere cellen. Ook bevat het celmembraan **cholesterol**, dat een rol speelt in de stevigheid van de membranen.

opdrachten

- 33** In welke cellen is het cytoskelet belangrijker voor het handhaven van de vorm: in plantaardige cellen of in dierlijke cellen? Leg je antwoord uit.
- 34** Voedingsmiddelen bevatten voedingsstoffen. Zes groepen voedingsstoffen zijn: eiwitten, koolhydraten, mineralen, vetten, vitamines en water. Van welke groepen voedingsstoffen kun je met zekerheid zeggen dat ze bouwstenen leveren voor membranen?
- 35** Betuline is een stof in de bast van berken en voorkomt dat muizen en insecten aan de boom knagen. Misschien is betuline een basis voor nieuwe kankermedicijnen. In het laboratorium kan betuline namelijk worden omgezet in betulinezuur. Dit betulinezuur kan worden toegediend aan kankerpatiënten. Het zuur heeft alleen een effect op kankercellen, niet op gezonde cellen. Kankercellen delen namelijk snel en produceren voor de aanmaak van membranen voor nieuwe mitochondriën zelf verzadigde vetzuren. Een enzym, Scd-1, zet een deel van de verzadigde vetzuren om in onverzadigde vetzuren. Betulinezuur remt Scd-1 waardoor er minder onverzadigde vetzuren worden gevormd. Het mitochondriummembraan wordt dan star en kan scheuren. Gezonde cellen halen hun vetten vooral uit voeding en zijn dus niet afhankelijk van Scd-1.
- a** Voor gezonde cellen heeft betulinezuur geen gevolgen. Hoe kun je dit verklaren?
- b** Wat zijn de gevolgen voor een cel als de membranen van de mitochondriën zijn aangetast?
- 36** Een onderzoeker heeft de membraaneiwitten van een cel van een muis gemerkt met een rode kleurstof en de membraaneiwitten van een cel van een mens met een blauwe kleurstof. Hij laat beide cellen met elkaar fuseren tot één nieuwe cel. Na een uur bekijkt hij het resultaat (zie afbeelding 37). Welke conclusie kan de onderzoeker op grond van dit resultaat trekken?

► **Afb. 37** Twee cellen fuseren tot één cel.

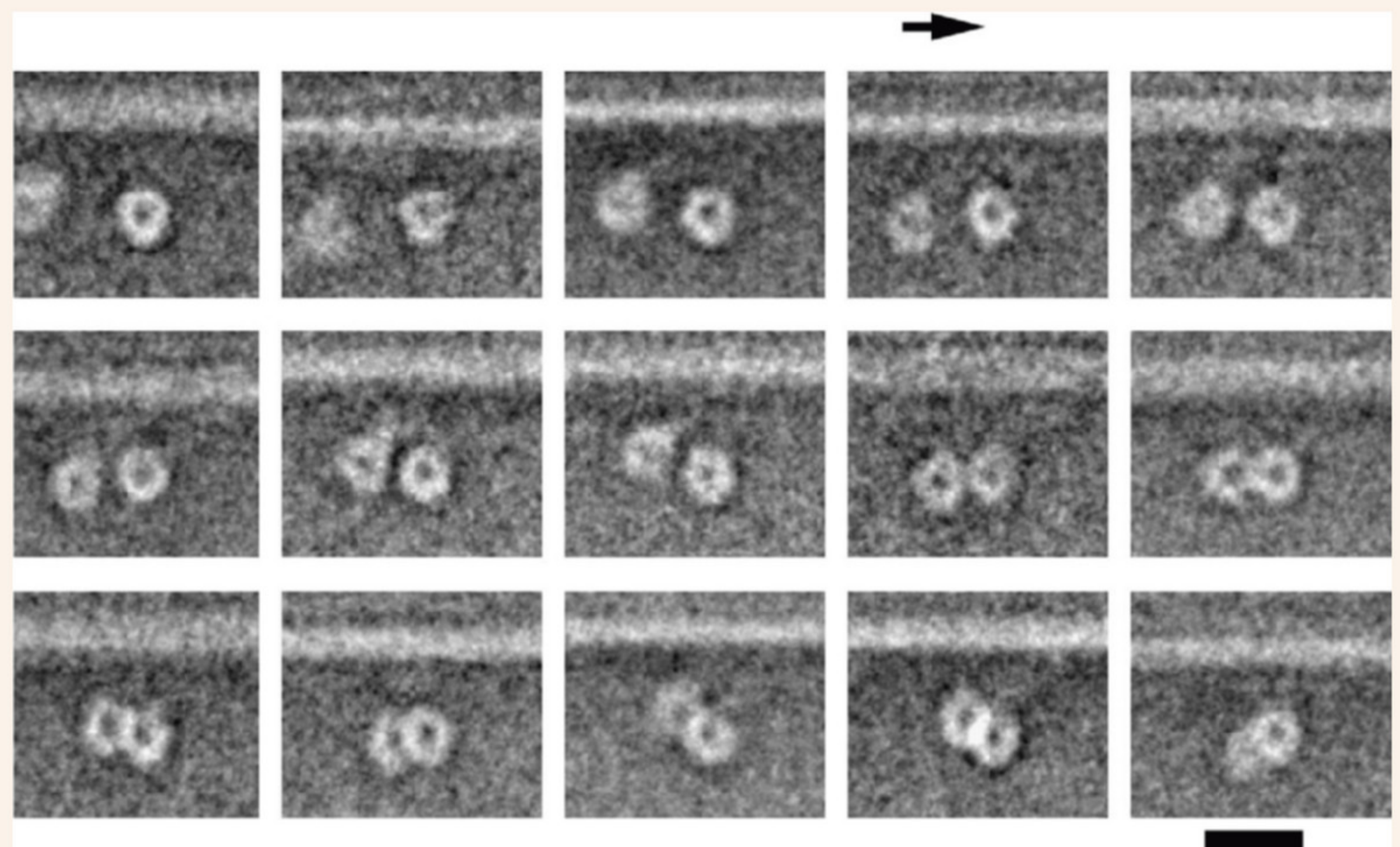


Expressbezorging in een cel

Soms zijn moleculen die in de celkern zijn gemaakt, nodig in de buurt van het celmembraan. Voor een cel is dat een behoorlijke afstand. Wanneer bepaalde moleculen niet op tijd aankomen, loopt het functioneren van de cel gevaar. De cel heeft daarvoor een oplossing: expressbezorging met motoreiwitten. Motoreiwitten zorgen in de cel voor het transport van allerlei stoffen. Ze slepen deze stoffen in blaasjes over de microtubuli van het cytoskelet. De motoreiwitten verplaatsen zich daarbij op een manier die nog het meest aan lopen doet denken. De eiwitten hebben namelijk twee voetjes die zich beurtelings binden aan een vezel. Aan deze expressbezorging zijn kosten verbonden in de vorm van ATP.

De Utrechtse hoogleraar celbiologie Casper Hoogenraad, bestudeert motoreiwitten in levende cellen. Hij onderzoekt hoe bepaalde ziekten of medicijnen de loop van de motoreiwitten beïnvloeden. Andere wetenschappers zijn er in geslaagd microscopopnamen te maken van voortbewegende motoreiwitten (zie afbeelding 38). Dit is een geweldige prestatie want het eiwit op de foto is minder dan een tienduizendste van een millimeter groot.

► **Afb. 38** Wandelende motoreiwitten.



opdrachten

- 37 Het bewegen van motoreiwitten kost energie. Waarom verplaatsen niet alle stoffen in een cel zich met behulp van motoreiwitten?
- 38 Met welk type microscoop hebben de wetenschappers de foto's van afbeelding 38 gemaakt? Leg je antwoord uit.
- 39 Wat zou Casper Hoogenraad kunnen waarnemen als hij bestudeert hoe bepaalde ziekten of medicijnen de loop van motoreiwitten beïnvloeden?

Leerdoelen

- Je kunt de concentratie van een oplossing berekenen.
- Je kunt uitleggen wat diffusie en osmose is en toelichten welke rol osmose speelt bij de stevigheid van planten.
- Je kunt beschrijven hoe transport van stoffen via (cel)membranen plaatsvindt.

5

Transport door membranen

Voor een cel vormt het celmembraan de afscheiding met de omgeving. Het membraan van organellen vormt de afscheiding met het cytoplasma. Hoe gaan sommige stoffen bij een cel of bij organellen naar binnen en andere stoffen naar buiten?

CONCENTRATIE

Membranen zijn voor veel stoffen ondoordringbaar. Alleen sommige vetten en enkele kleine moleculen, zoals zuurstof, stikstof en koolstofdioxide, kunnen membranen ongehinderd passeren. Watermoleculen zijn ook klein en kunnen daardoor membranen wel passeren, maar heel traag. Voor een goed verloop van processen in en om een cel is het noodzakelijk om stoffen een cel in en een cel uit te transporteren. In cellen vinden allerlei reacties plaats waar energie voor nodig is. De energie is afkomstig van chemische reacties. Voor deze reacties heeft een cel voedingsstoffen nodig en produceert een cel afvalstoffen. De concentratie van de stoffen die energie leveren neemt zo af. De concentratie van afvalstoffen neemt toe en daarmee ook de afgifte van afvalstoffen. De stoffen gaan door het celmembraan van een cel en de membranen van de organellen heen. Het verschil in concentratie van de stoffen aan weerszijde van een membraan is daarbij belangrijk.

Een oplossing bestaat uit een **oplosmiddel** en een of meer opgeloste stoffen. Bij organismen is water het oplosmiddel. De **concentratie** geeft de hoeveelheid opgeloste stof in een bepaalde hoeveelheid oplosmiddel aan. De hoeveelheid opgeloste stof kun je aangegeven met gram per liter (g/L of g L^{-1}) of gram per kubieke decimeter (g/dm^3 of g dm^{-3}). Het is ook mogelijk de concentratie aan te geven in gewichtseenheden. Meestal gebruik je dan procenten. Een erg lage concentratie van een stof kun je uitdrukken in **ppm** (parts per million). 1 ppm komt overeen met een concentratie van 0,0001%.

Een voorbeeld: een infuus bevat vaak een fysiologische zoutoplossing dat in de bloedbaan komt van een patiënt. Dit is een oplossing van 0,9% keukenzout. De concentratie in procenten bereken je altijd ten opzichte van de totale oplossing. Een fysiologische zoutoplossing kun je maken door 9 g keukenzout op te lossen in 991 g water.

opdrachten

- 40** Waardoor kan water moeilijk de fosfolipidenlaag passeren?
- 41** Je kunt zelf zoutoplossingen maken.
- Je maakt 250 mL fysiologische zoutoplossing. Hoeveel gram keukenzout moet je dan oplossen?
 - Je maakt 20 g keukenzoutoplossing van 5%. Hoeveel gram zout en hoeveel gram water heb je dan nodig?
 - Kristel lost 3 g keukenzout en 2 g suiker op in 20 g water. Hoe groot is de zoutconcentratie in de oplossing die ze krijgt? En hoe groot is de suikerconcentratie?

- 42 In 2015 was de gemiddelde concentratie koolstofdioxide in de lucht 0,04%. Hoeveel ppm was dit?
- 43 a Een glas bier heeft een inhoud van 250 mL. Het alcoholpercentage is 5%. Hoeveel milliliter alcohol krijg je binnen als je twee glazen bier drinkt?
- b Alcohol heeft een massa bij kamertemperatuur van 800 g per liter. Hoeveel gram alcohol krijg je binnen als je twee glazen bier drinkt?

DIFFUSIE

Als je in de hoek van het lokaal een gaskraan even openzet, ruik je een tijdje later overal in de klas gas. De gasmoleculen vermengen zich met de lucht en verspreiden zich over de hele ruimte. Als je in een glas water een geconcentreerde oplossing van een kleurstof druppelt en deze enige tijd laat staan, dan vermengt de kleurstof zich met het water (zie afbeelding 39). Na een tijdje is het gehele glas water gekleurd. Dit verschijnsel heet **diffusie**. De afgifte van zuurstof door plantaardige cellen en de opname van zuurstof door dierlijke cellen vindt plaats door diffusie.

Diffusie is de verplaatsing van een stof van een plaats met een hoge concentratie naar een plaats met een lage concentratie van die stof. Diffusie vindt plaats in een gasvormig of vloeibaar medium doordat de moleculen van gassen en vloeistoffen bewegen. Het medium kan bijvoorbeeld lucht of water zijn. De bewegingen van de moleculen zijn ongericht. Elk molecuul beweegt in een rechte lijn tot het tegen een ander molecuul botst. Door de botsing verandert de richting van de beweging. Hierdoor bewegen moleculen naar alle kanten door de ruimte die de vloeistof of het gas inneemt (zie afbeelding 40). Door diffusie verdelen moleculen zich gelijkmatig (homogeen) over de beschikbare ruimte. De concentratie is daardoor uiteindelijk overal gelijk. Er is dan een netto verplaatsing opgetreden van moleculen (zowel van het oplosmiddel als de opgeloste stof) van plaatsen met de hoogste concentratie naar plaatsen met de laagste concentratie. In een ruimte met een gas of oplossing waarbij de concentratie overal gelijk is, bewegen de moleculen nog steeds maar blijft de concentratie overal gelijk.

De snelheid waarmee de moleculen van een opgeloste stof zich homogeen over de ruimte verdelen, heet de **diffusiesnelheid**. De diffusiesnelheid is afhankelijk van de temperatuur. Bij een stijgende temperatuur neemt de bewegingssnelheid van moleculen toe en worden botsingen tussen moleculen krachtiger. De moleculen verspreiden zich dan sneller over een ruimte. De diffusiesnelheid hangt ook af van de stof waarin de diffusie plaatsvindt (medium). De dichtheid van de moleculen in water is veel groter dan de dichtheid van de moleculen in lucht. Wanneer moleculen dichter op elkaar zitten, zijn er veel meer botsingen. Hierdoor is de diffusiesnelheid in water minder groot dan in lucht.

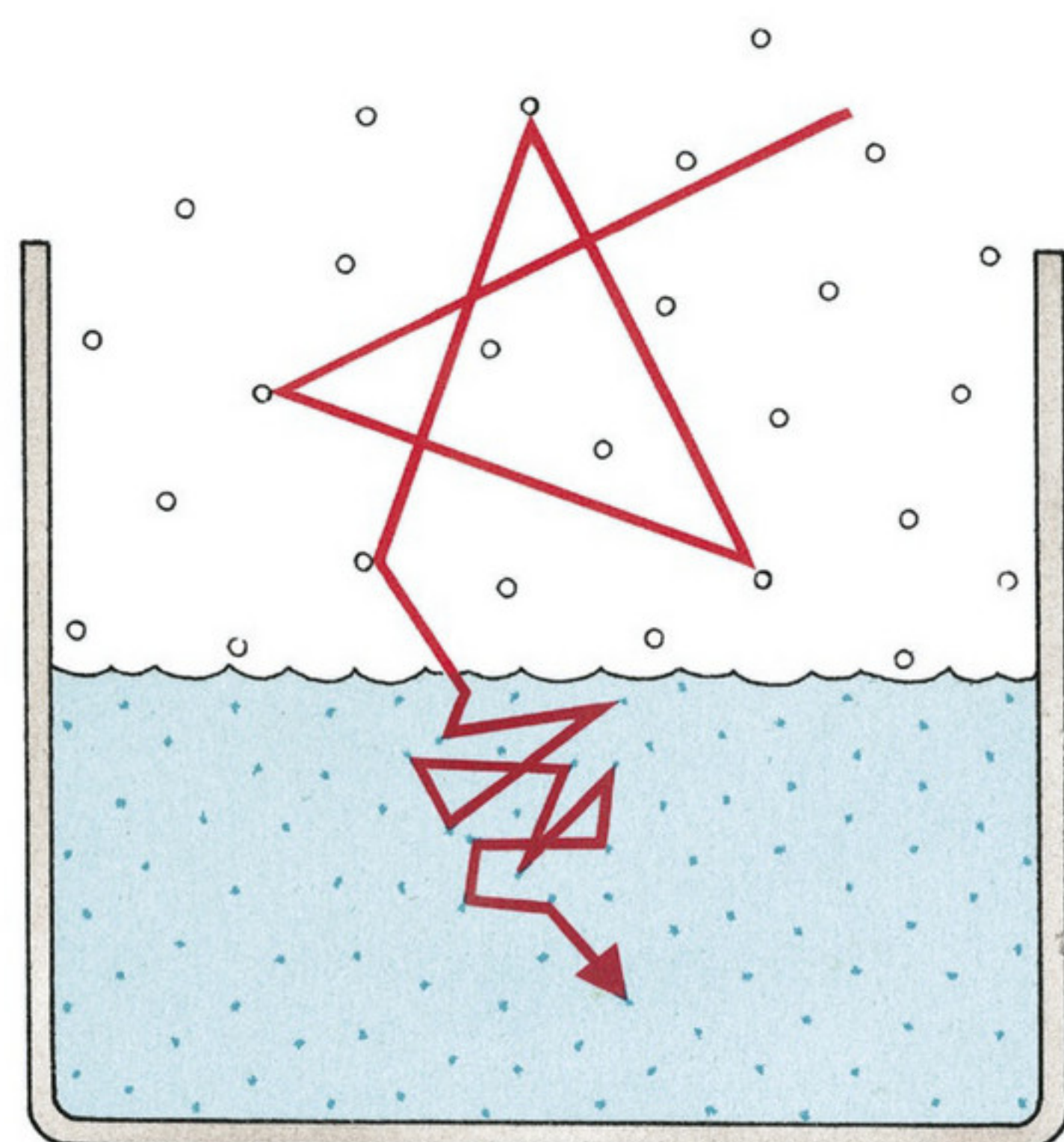
opdrachten

- 44 Felix vult twee identieke glazen: een met warm water en een met evenveel koud water. Hij laat de glazen met het water 2 minuten staan totdat het water tot rust gekomen is. Daarna druppelt hij in elk glas evenveel druppels blauwe kleurstof. Na 5 minuten is er een homogene verdeling van de blauwe kleurstof in het glas met warm water. In het glas met koud water is de concentratie blauwe kleurstof op sommige plaatsen hoger dan op andere plaatsen. Welke conclusie kun je trekken over de diffusiesnelheid van de blauwe kleurstof en de temperatuur van het water? Leg je antwoord uit.

▼ **Afb. 39** Diffusie van een kleurstof in water.



▼ **Afb. 40** De afgelegde weg van een gasmolecuul in water en lucht.



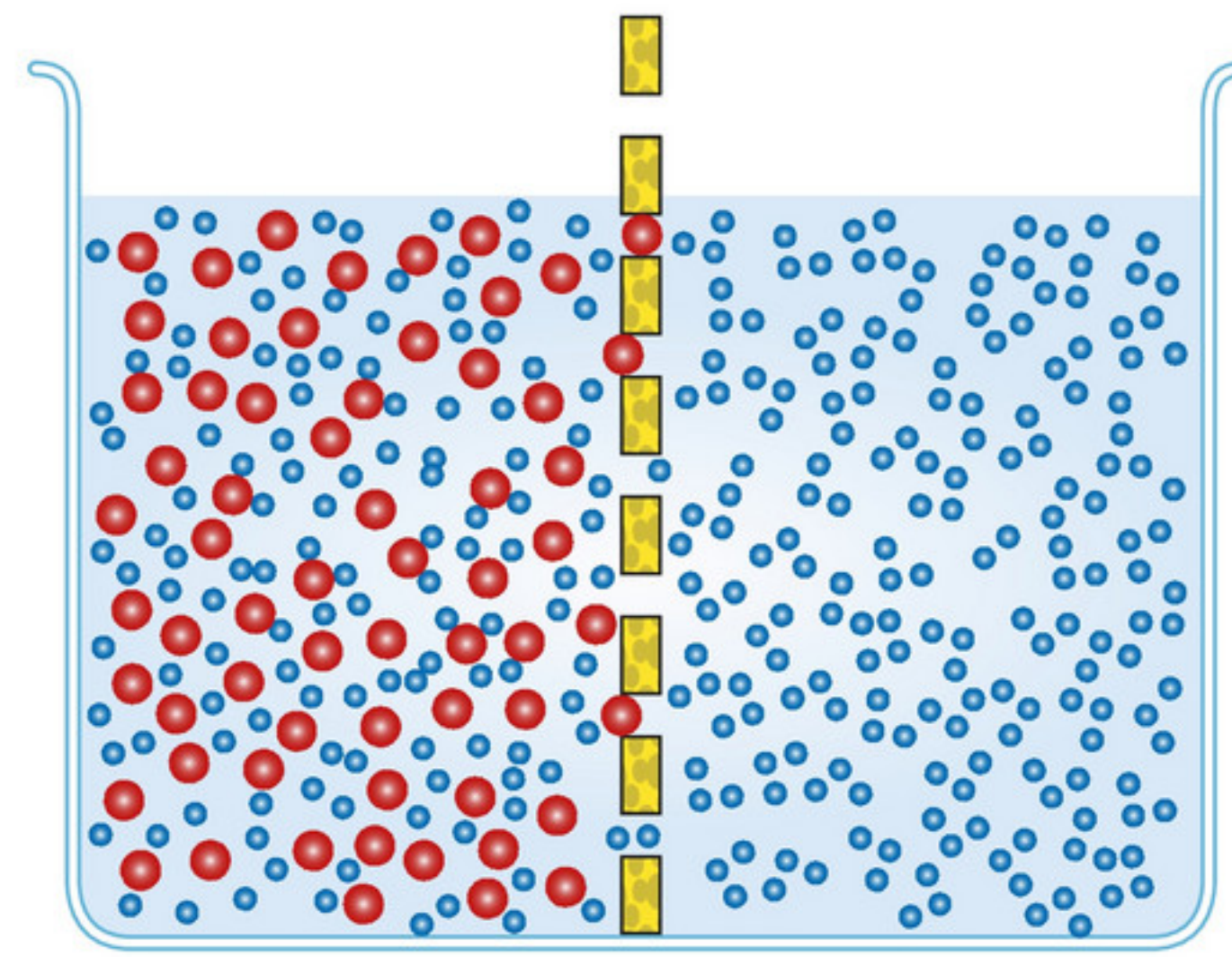
45 Gaat diffusie in lucht sneller of langzamer dan in water? Leg uit hoe dit komt.

► PRACTICUMOPDRACHT 5

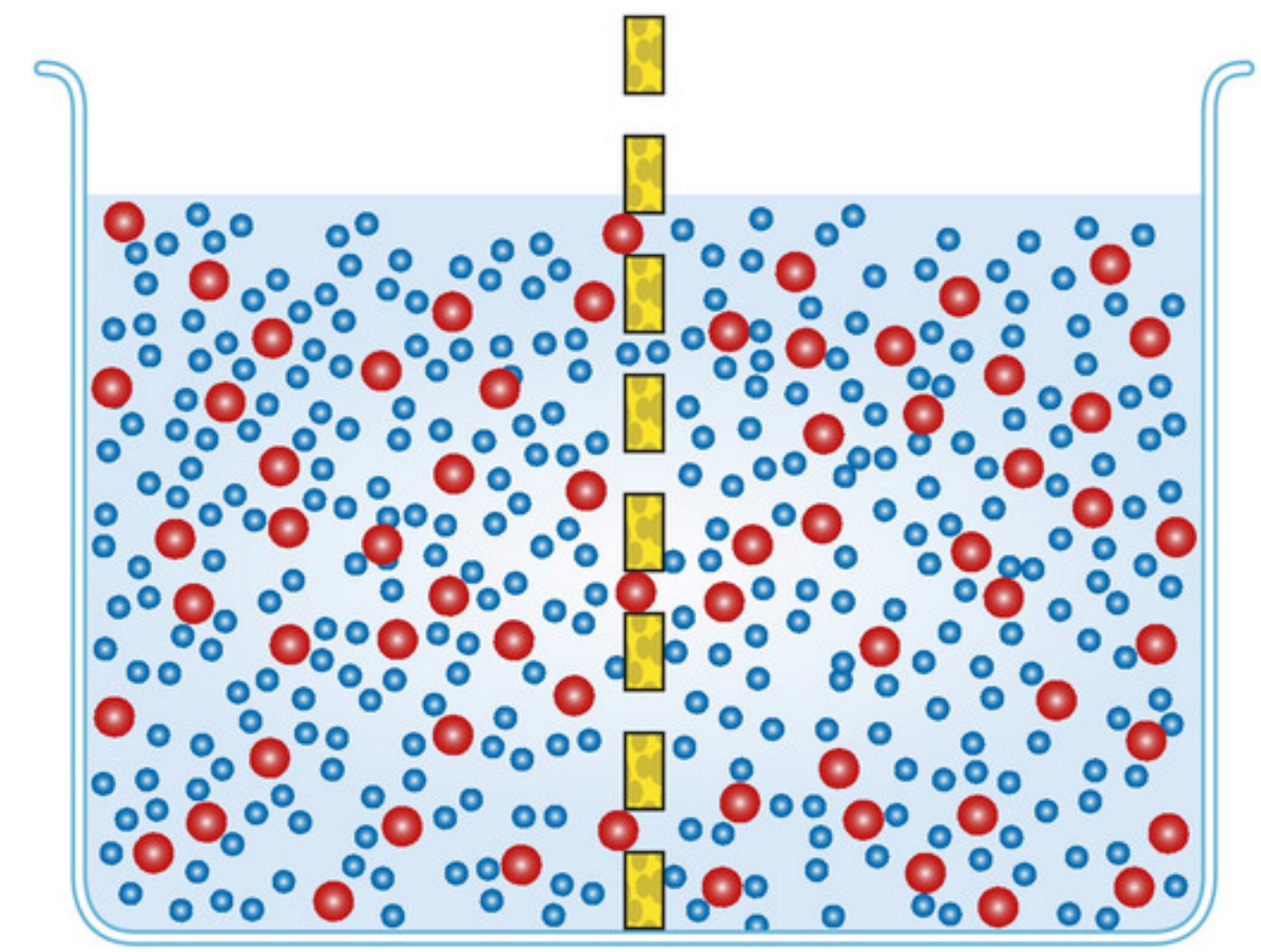
OSMOSE

Vloeistoffen of gassen kunnen gescheiden zijn door een wand met poriën (zie afbeelding 41). Als de moleculen kleiner zijn dan de poriën in de wand, kunnen ze passeren en kan diffusie optreden. Zo'n wand noem je **doorlatend** of **permeabel**.

► **Afb. 41** Diffusie door een permeabele wand.



1 Een oplossing (links) en water (rechts) zijn gescheiden door een permeabele wand.

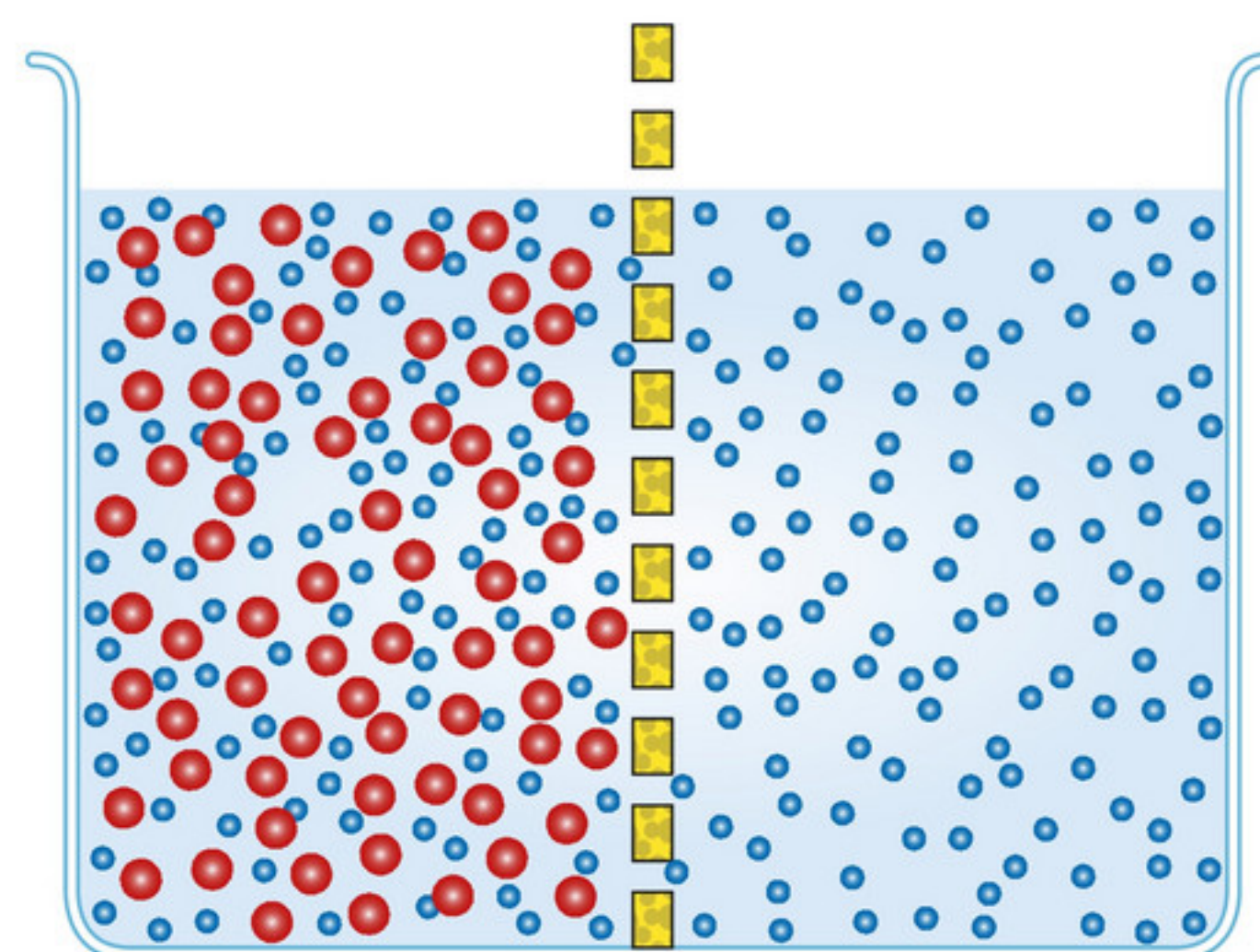


2 Na enige tijd is er een homogene verdeling van de moleculen: de concentratie is aan beide kanten van de wand gelijk.

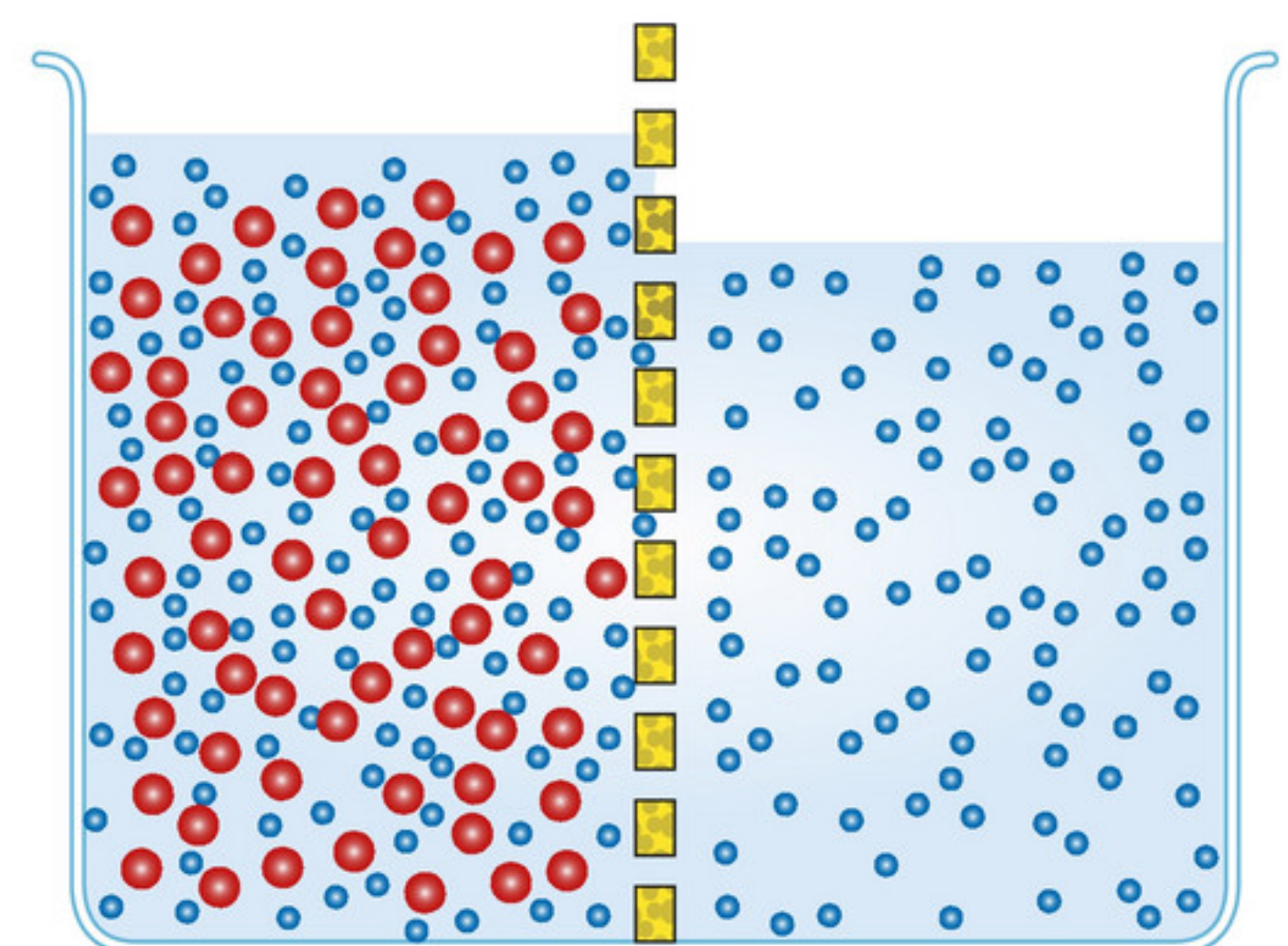
Vloeistoffen of gassen kunnen ook gescheiden zijn door een wand met poriën waar kleine moleculen wel doorheen kunnen maar grote moleculen niet. Zo'n wand noem je **semipermeabel** of **selectief permeabel**. In afbeelding 42 bevindt zich links van de wand een oplossing en rechts alleen water. De wand is semipermeabel: watermoleculen kunnen er wel doorheen maar de moleculen van de opgeloste stof niet. Watermoleculen gaan dan door diffusie van de plaats met de meeste watermoleculen (het water rechts) naar de plaats met de minste watermoleculen (de oplossing links). Het vloeistofniveau van de oplossing stijgt hierdoor en de concentratie van de opgeloste stoffen in de oplossing neemt hierdoor af.

Het waterniveau rechts daalt. Dit proces van diffusie van water door een semipermeabel membraan heet **osmose**.

► **Afb. 42** Diffusie van water door een semipermeabel membraan (osmose).



1 Een oplossing (links) en water (rechts) zijn gescheiden door een semipermeabele wand.



2 Na enige tijd is er diffusie van watermoleculen opgetreden van rechts naar links waardoor het vloeistofniveau in de linkerhelft is gestegen en het vloeistofniveau in de rechterhelft is gedaald.

OSMOTISCHE WAARDE EN OSMOTISCHE DRUK

Door de concentratie aan opgeloste stoffen heeft een oplossing een bepaalde **osmotische waarde**. De osmotische waarde wordt bepaald door de hoeveelheid opgeloste deeltjes per volume-eenheid. Hoe meer deeltjes zich in de oplossing bevinden, hoe hoger de osmotische waarde is. Het maakt hierbij niet uit welke stof is opgelost, alleen het aantal deeltjes per volume-eenheid telt. Sommige stoffen vallen in water uiteen in ionen. Bijvoorbeeld wanneer je keukenzout oplost in water, dan valt dat uiteen in natriumionen (Na^+ -ionen) en chloride-ionen (Cl^- -ionen). Bij het oplossen van glucose gebeurt dit niet. Een oplossing met een bepaald aantal moleculen NaCl heeft daardoor een hogere osmotische waarde dan een oplossing met hetzelfde aantal moleculen glucose.

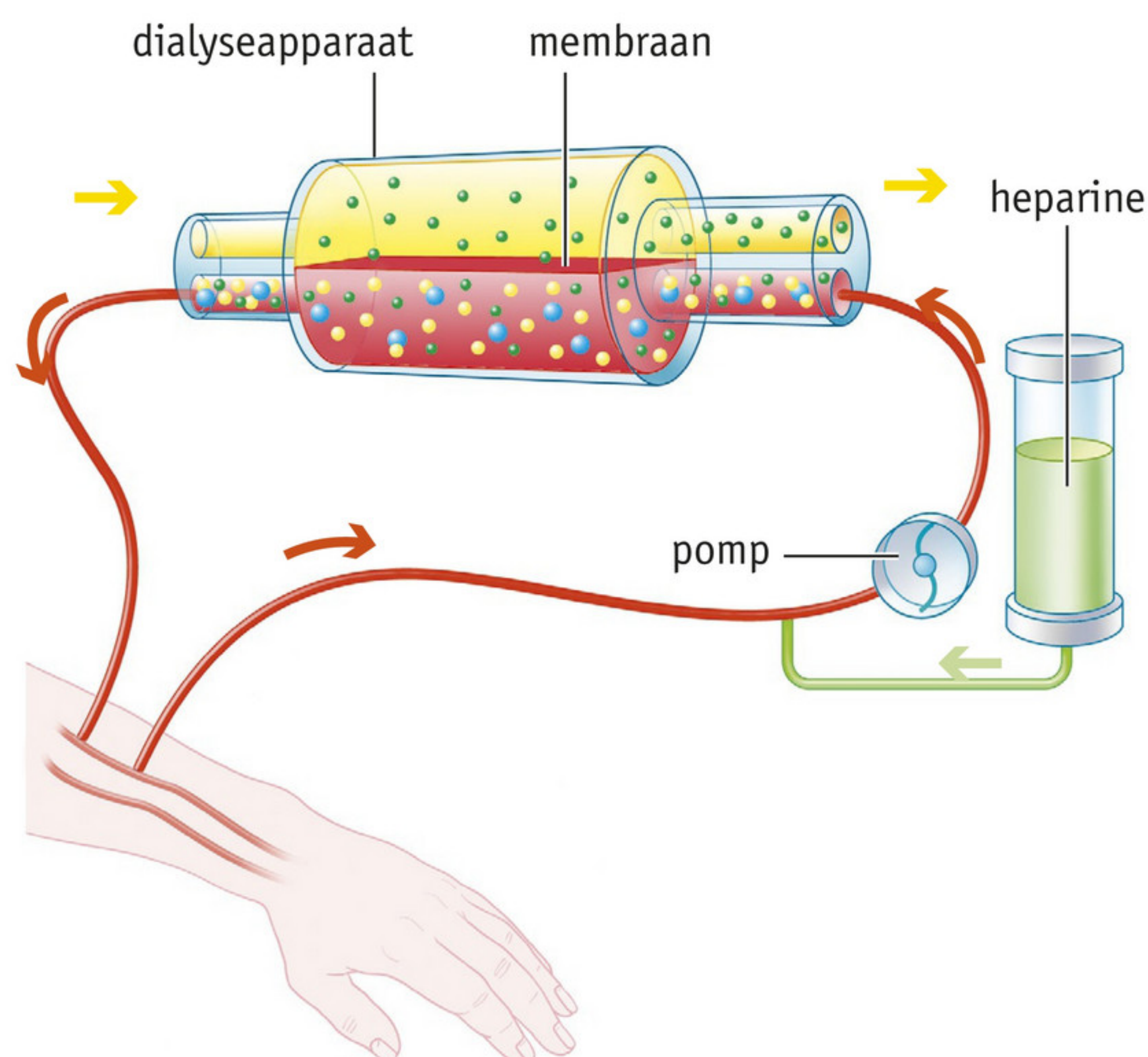
Wanneer twee oplossingen met een verschillende osmotische waarde zijn gescheiden door een semipermeabel membraan, gaat er water van de oplossing met de laagste osmotische waarde naar de oplossing met de hoogste osmotische waarde. De oplossing met de hoogste osmotische waarde oefent een 'aanzuigkracht' uit op de andere oplossing. De aanzuigkracht noem je **osmotische druk**. De grootte van de osmotische druk wordt bepaald door de concentratie opgeloste deeltjes in een oplossing (de osmotische waarde). Hoe meer van die deeltjes, hoe groter de osmotische druk.

Door osmose kunnen oplossingen van verschillende concentraties aan beide zijden van een semipermeabel membraan een gelijke concentratie krijgen. In de bak van afbeelding 42 veroorzaakt de zwaartekracht een tegenwerkende kracht waardoor het waterniveau in het linkerdeel niet blijft stijgen. De concentraties aan beide zijden van het semipermeabele membraan worden dan niet gelijk.

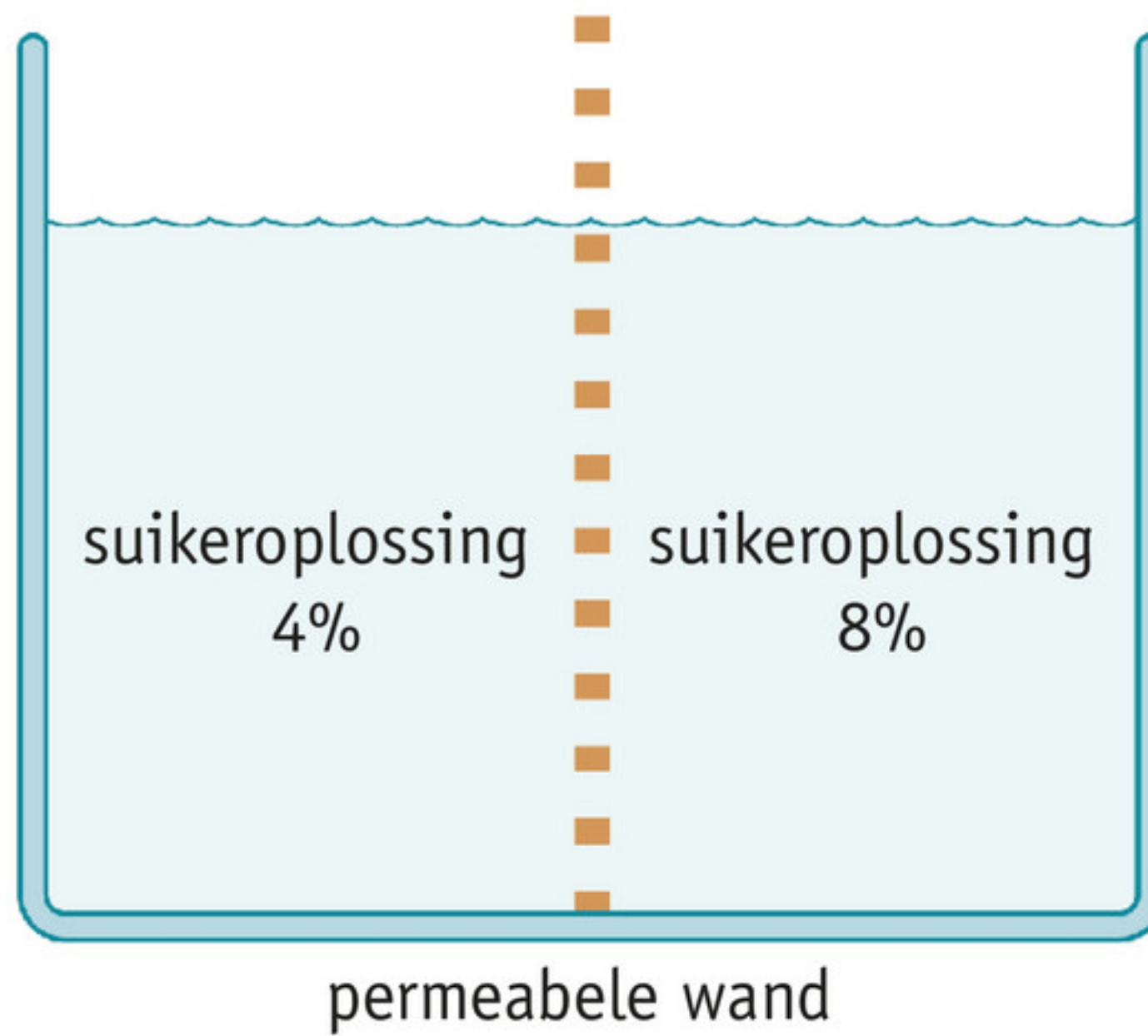
opdrachten

- 46** Mensen met slecht functionerende nieren, zijn vaak afhankelijk van een nierdialyse. Een nierdialyseapparaat reinigt hun bloed. In afbeelding 43 zie je de werking van een nierdialyse schematisch weergegeven. Het membraan tussen de dialysevloeistof en het bloed laat bepaalde stoffen wel door en andere niet. Hoe noem je zo'n membraan?

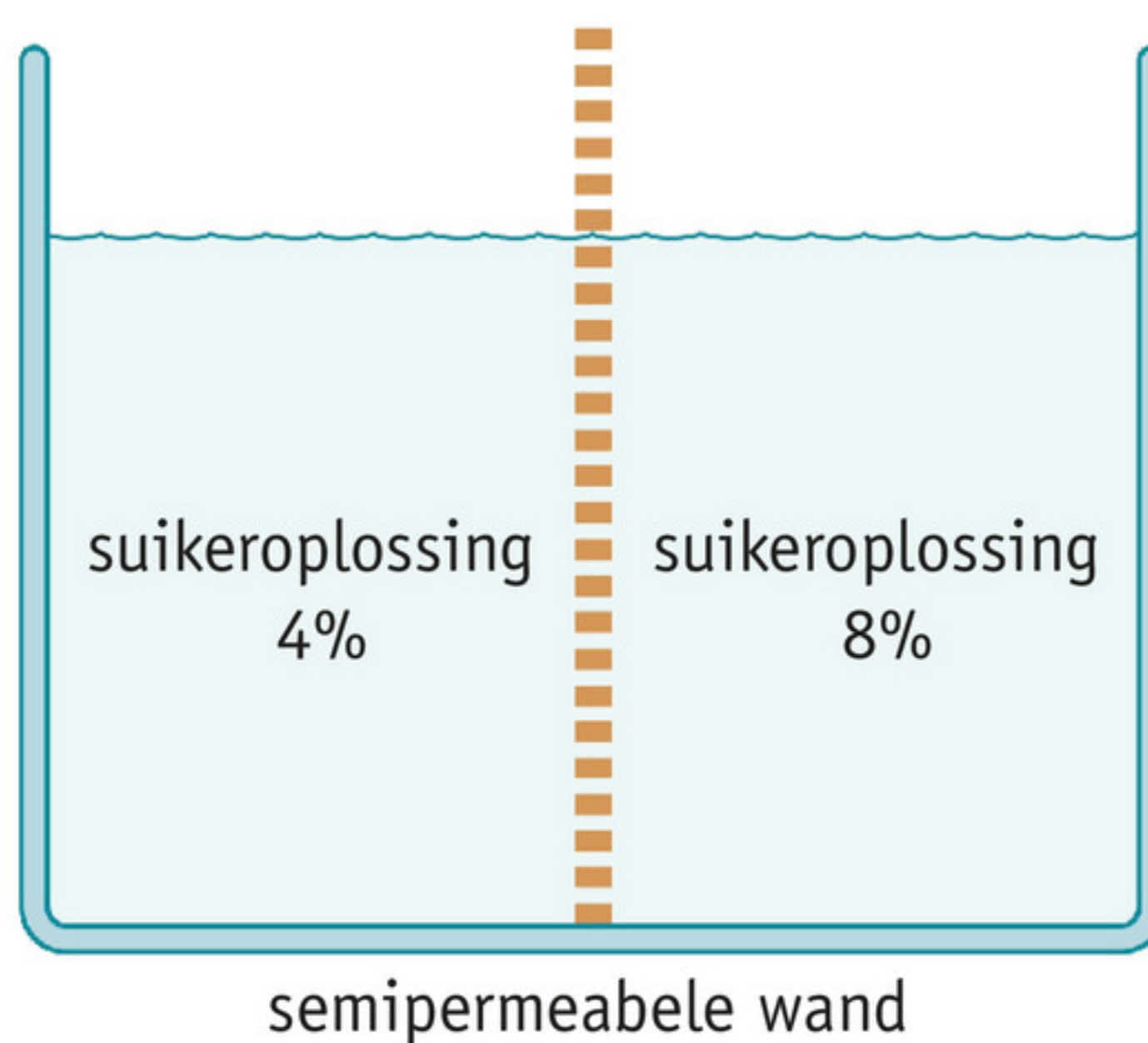
► **Afb. 43** Nierdialyse (schematisch).



▼ Afb. 44



▼ Afb. 45



- 47 Osmose is ook een vorm van diffusie. Welke stof gaat bij osmose van een hoge naar een lage concentratie?
- 48 In afbeelding 44 zie je een bak die door een permeabele wand in twee helften is verdeeld. Links bevindt zich een suikeroplossing van 4%. Rechts een suikeroplossing van 8%.
- In welk deel van de bak bevinden zich de meeste suikermoleculen, direct na het vullen van de bak?
 - Wat wordt de suikerconcentratie in de hele bak als de suikermoleculen zich gelijk over beide oplossingen verdelen?
- 49 In afbeelding 45 zie je een bak die door een semipermeabele wand in twee helften is verdeeld. Links bevindt zich een suikeroplossing van 4%. Rechts een suikeroplossing van 8%.
- Is de concentratie suikermoleculen en watermoleculen laag of hoog ten opzichte van de andere oplossing? Neem het volgende schema over en vul het in. Kies uit: *hoog* – *laag*.

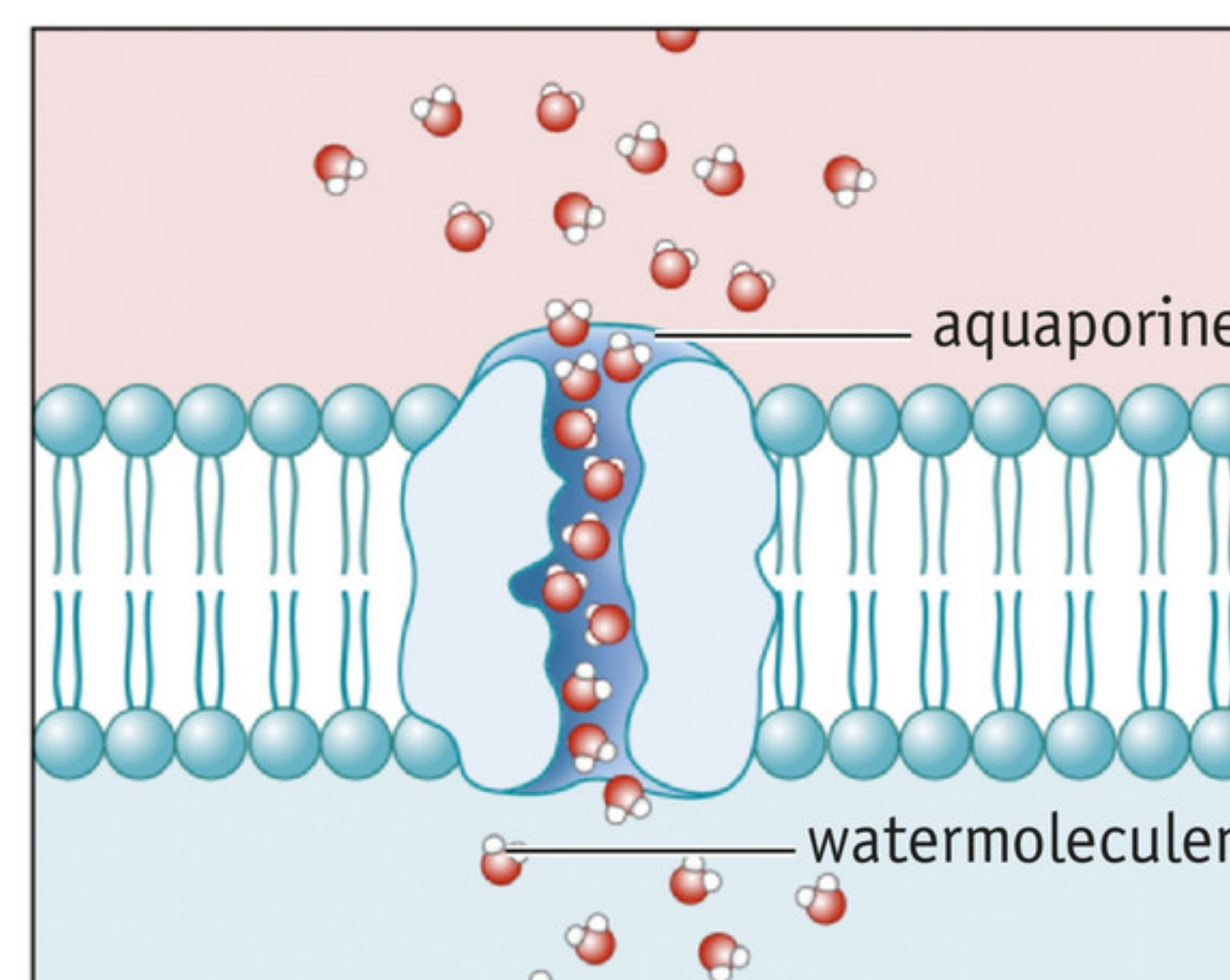
Suikeroplossing van 4%		Suikeroplossing van 8%	
Concentratie suikermoleculen		concentratie suikermoleculen	
Concentratie watermoleculen		concentratie watermoleculen	

- Treedt er diffusie van suiker op? Zo ja, in welke richting? Leg je antwoord uit.
- Treedt er diffusie van water op? Zo ja, in welke richting? Leg je antwoord uit.
- In welke bak is de osmotische druk het grootst? Leg uit hoe dat komt.
- Hoe veranderen de vloeistofniveaus in beide helften?
- Hoe verandert de concentratie suiker in de linkerhelft van de bak? En in de rechterhelft?

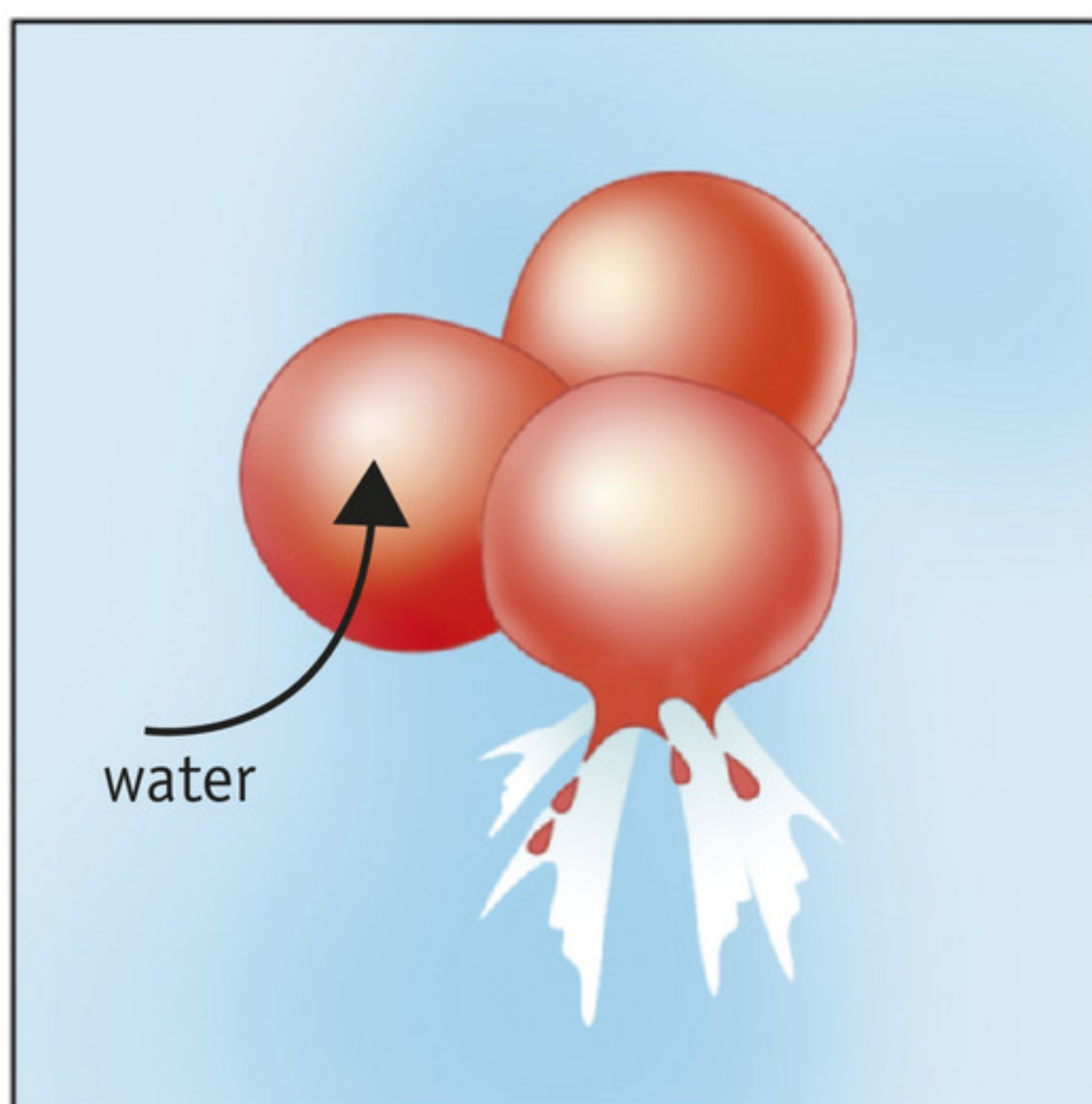
MEMBRANEN ZIJN SEMIPERMEABEL

Celmembranen en membranen van organellen zijn semipermeabel. Deze membranen scheiden oplossingen met een verschillende concentratie. Diffusie en osmose spelen daardoor een belangrijke rol bij het transport van stoffen in cellen van organismen. Zuurstof en koolstofdioxide kunnen membranen ongehinderd passeren. Het transport van deze stoffen in en uit een cel gaat via diffusie. Watermoleculen kunnen membranen maar heel langzaam passeren. Sommige typen cellen bezitten membranen met speciale eiwitten voor een snel transport van watermoleculen. Die speciale eiwitten heten **aquaporines** (aqua = water, porine = porie) of waterkanaaltjes (zie afbeelding 46). Hoe meer aquaporines een membraan bevat, hoe groter de doorlaatbaarheid voor water is, zoals bij membranen van niercellen.

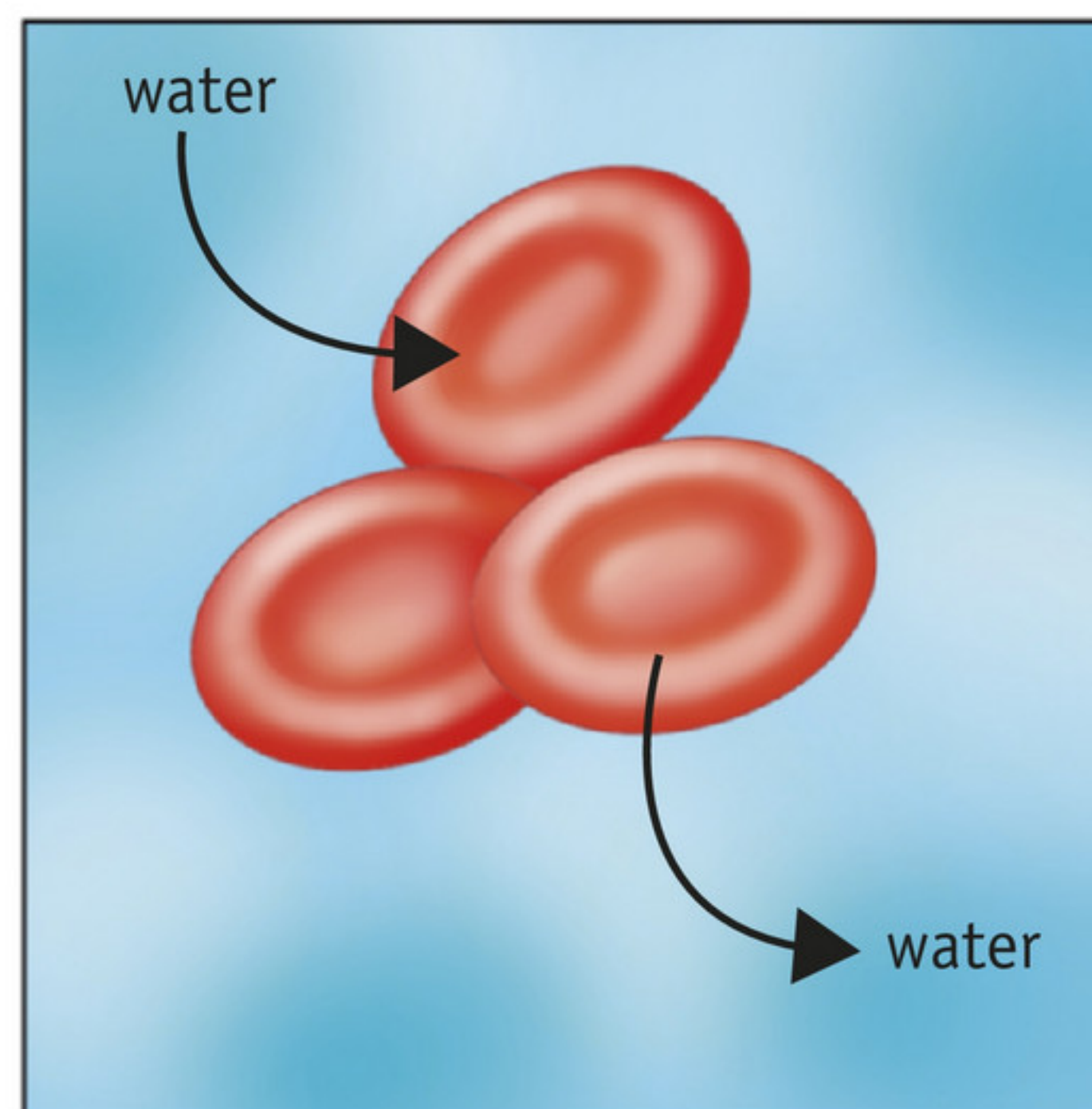
► Afb. 46 Aquaporine.



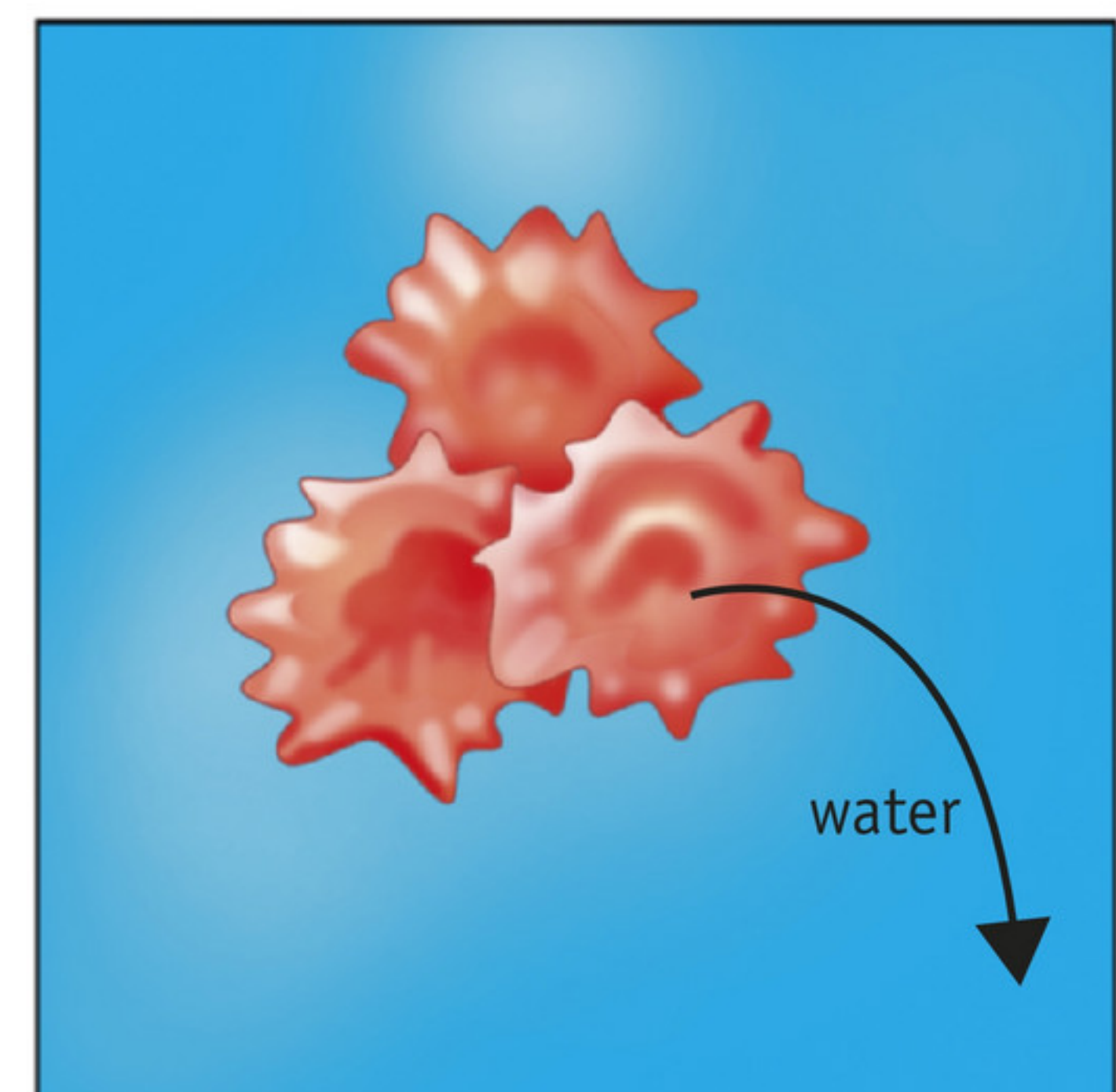
▼ **Afb. 47** De gevolgen van de verandering van de osmotische waarde in de omgeving van dierlijke cellen (schematisch).



1 De omgeving heeft een lagere osmotische waarde (hypotoon).



2 De osmotische waarden zijn gelijk (isotoon).



3 De omgeving heeft een hogere osmotische waarde (hypertoon).

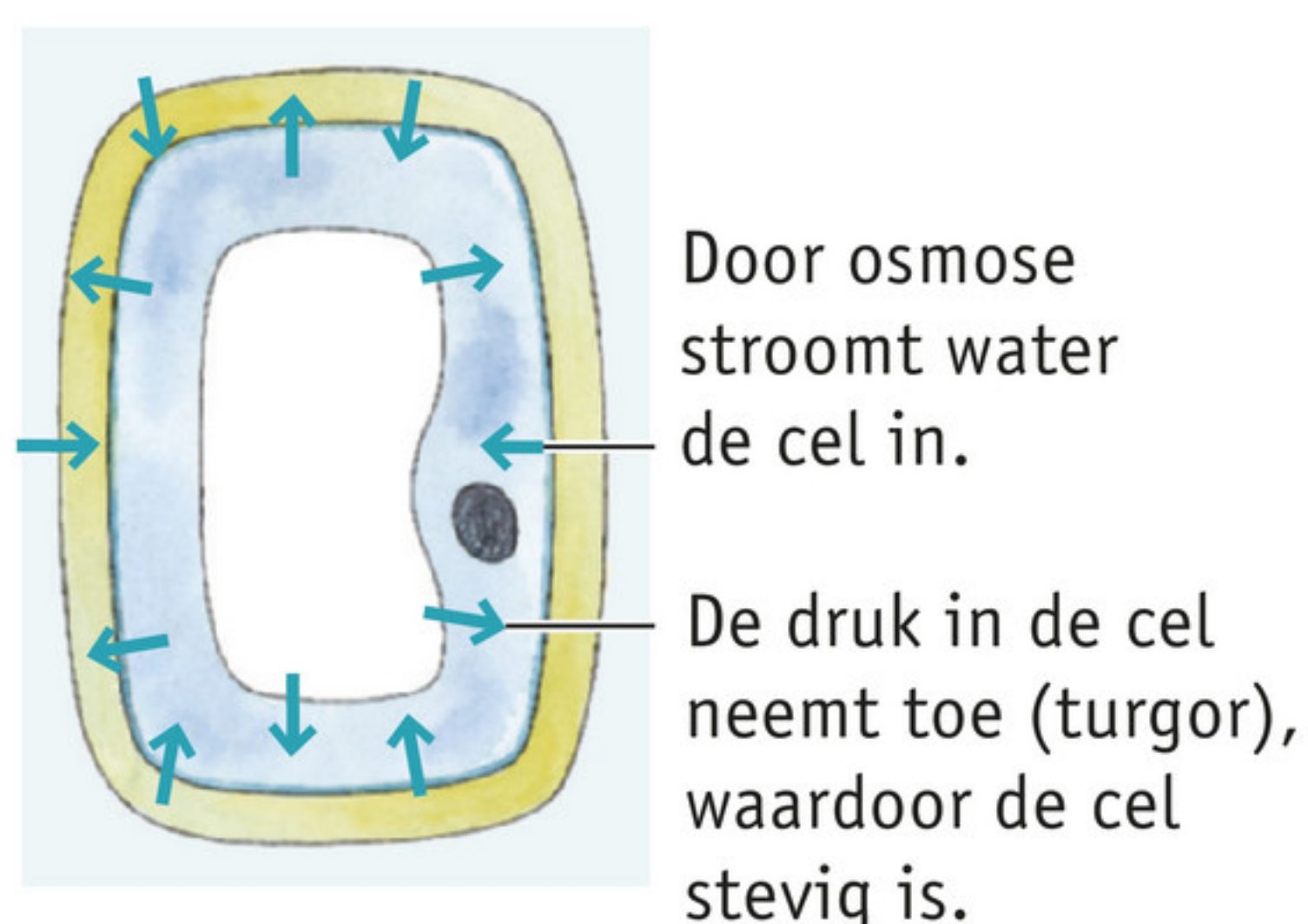
Dierlijke en plantaardige cellen reageren verschillend op veranderingen van de osmotische waarde van het vocht in hun directe omgeving. Wanneer je een dierlijke cel, bijvoorbeeld een rode bloedcel, in een oplossing legt waarvan de osmotische waarde gelijk is (**isotoon**) aan de osmotische waarde van het cytoplasma in de rode bloedcel, dan blijft het volume van de cel gelijk. Er gaan evenveel watermoleculen door het celmembraan de cel in als de cel uit (zie afbeelding 47.2). Leg je een rode bloedcel in een oplossing waarvan de osmotische waarde lager is (**hypotoon**) dan die van het cytoplasma in de rode bloedcel, dan zal water door osmose de cel in gaan. Het volume van de rode bloedcel neemt daardoor toe. Uiteindelijk kan de cel barsten (zie afbeelding 47.1). In een oplossing waarvan de osmotische waarde hoger is (**hypertoon**) dan die van het cytoplasma in de rode bloedcel, gaat water de cel uit waardoor het volume van de cel afneemt en de cel krimpt. De cel kan sterven door het waterverlies (zie afbeelding 47.3).

Doordat celmembranen semipermeabel zijn, hebben dieren die in een hypertoon of hypotoon milieu leven, aanpassingen om het verlies van water of het teveel aan opname van water te reguleren. Bij een eencellig zoetwaterorganisme, zoals het pantoffeldiertje, heeft het cytoplasma een hogere osmotische waarde dan het slootwater waarin het leeft. Hierdoor neemt het pantoffeldiertje door osmose voortdurend water op. Dit water wordt verzameld in een vacuole die zich regelmatig samentrekt: de kloppende vacuole. Door een porie perst de vacuole het teveel aan water weer naar buiten.

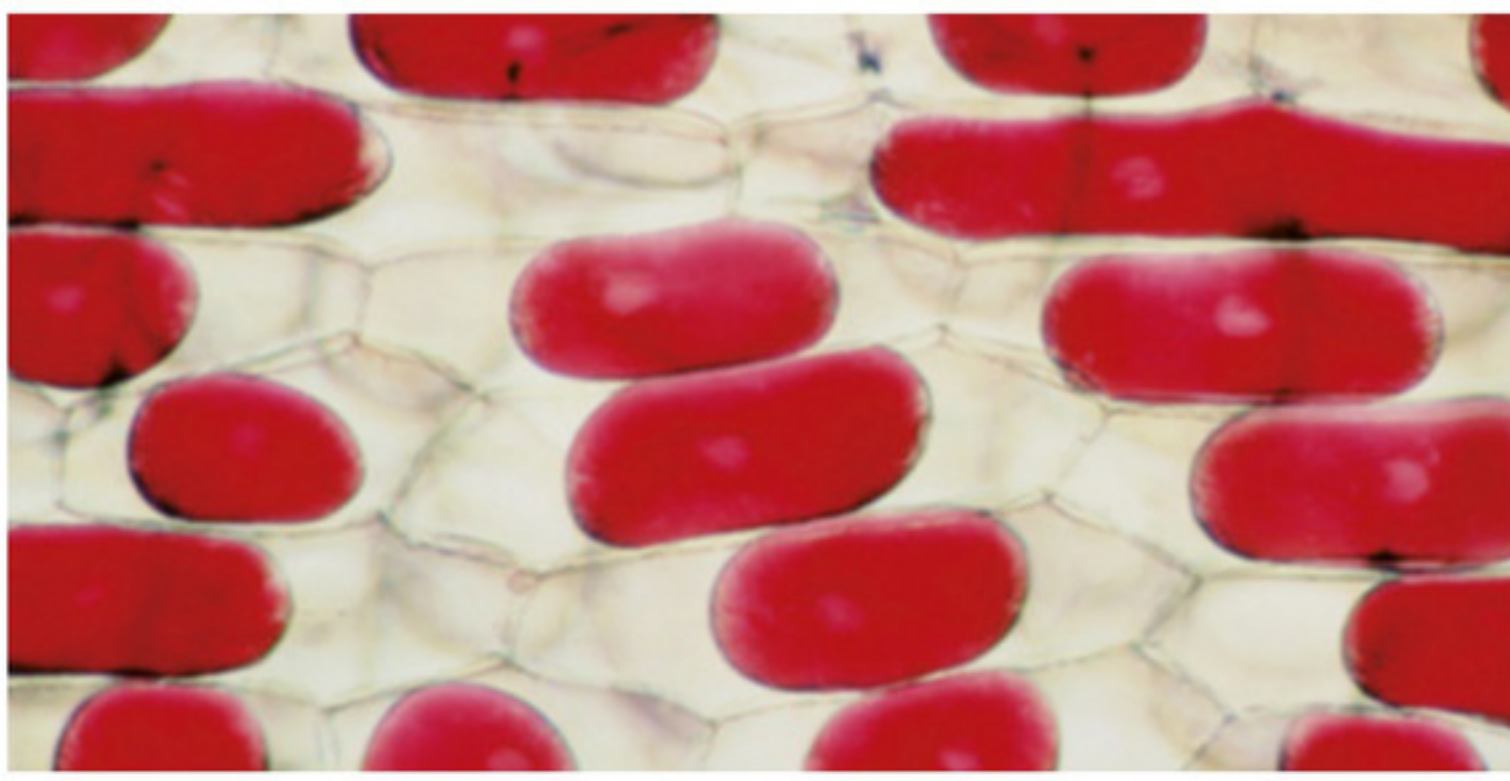
STEVIGHEID DOOR OSMOSE

De celwanden van planten zijn volledig permeabel. Daardoor is de osmotische waarde in de celwanden gelijk aan die van het water in de ruimten tussen de cellen. Het celmembraan scheidt het cytoplasma van de omgeving buiten de cel. De osmotische waarde van het cytoplasma in de cellen is hoger. In een omgeving met een lagere osmotische waarde zwellen plantaardige cellen op doordat water door osmose de cel in stroomt. Vanwege de stevige celwand om de plantaardige cellen, barsten zij niet zoals dierlijke cellen. Wel neemt de druk op de celwand in een plantaardige cel toe. Deze druk heet **turgor** en zorgt ervoor dat plantaardige cellen stevig zijn (zie afbeelding 48). Je kunt het vergelijken met een fietsband die je oppompt. De druk in de binnenband neemt toe, maar door de buitenband kan de binnenband op een bepaald moment niet verder uitzetten. De band is dan stevig. Onder normale omstandigheden bevinden plantaardige cellen zich in een omgeving met voldoende water. Dan hebben de cellen turgor. Je noemt plantaardige cellen met turgor **turgescerent**. Door turgor zijn de weefsels van planten stevig.

▼ **Afb. 48** Plantaardige cel onder normale omstandigheden.

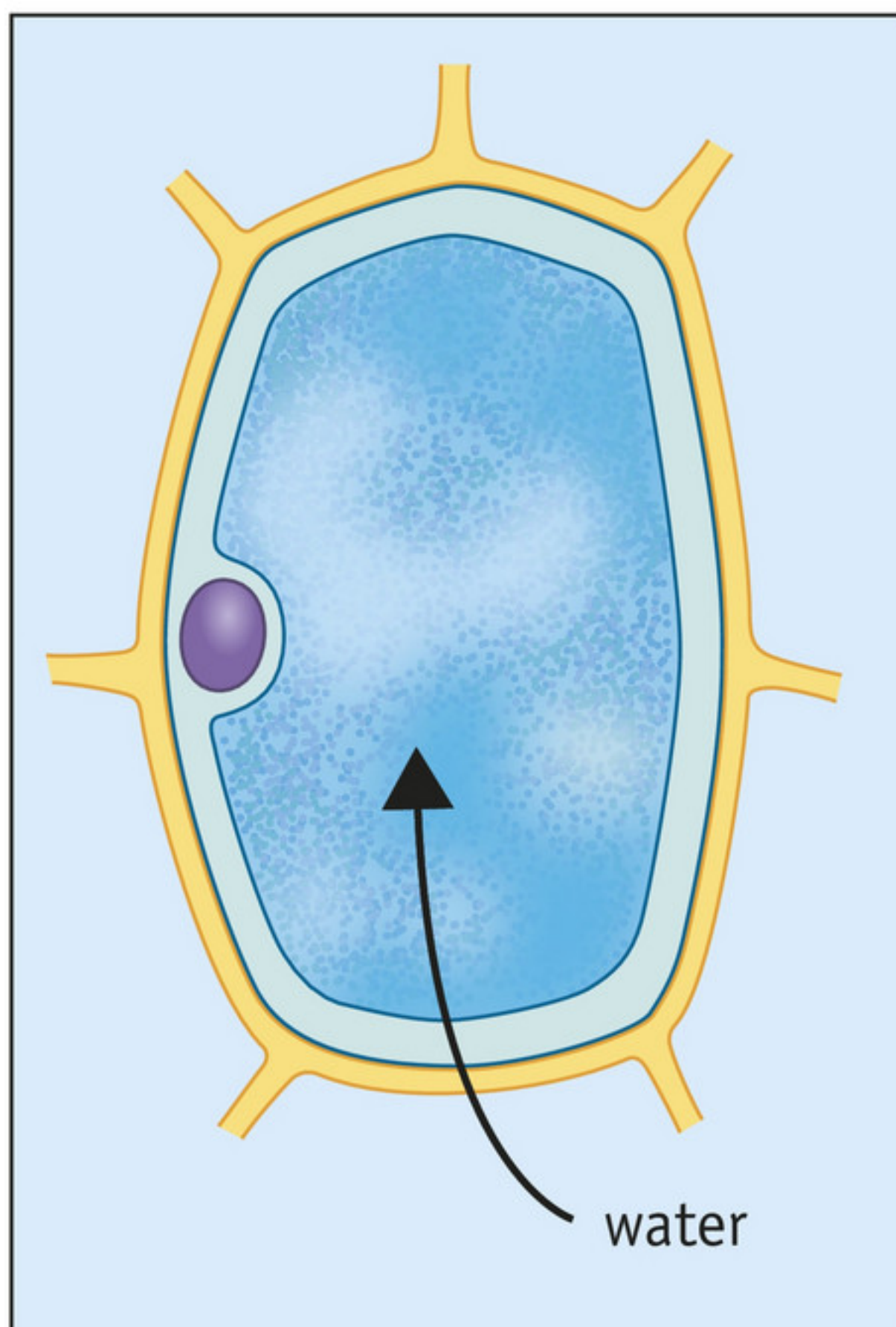


▼ **Afb. 49** Plasmolyse in cellen van een rode ui.

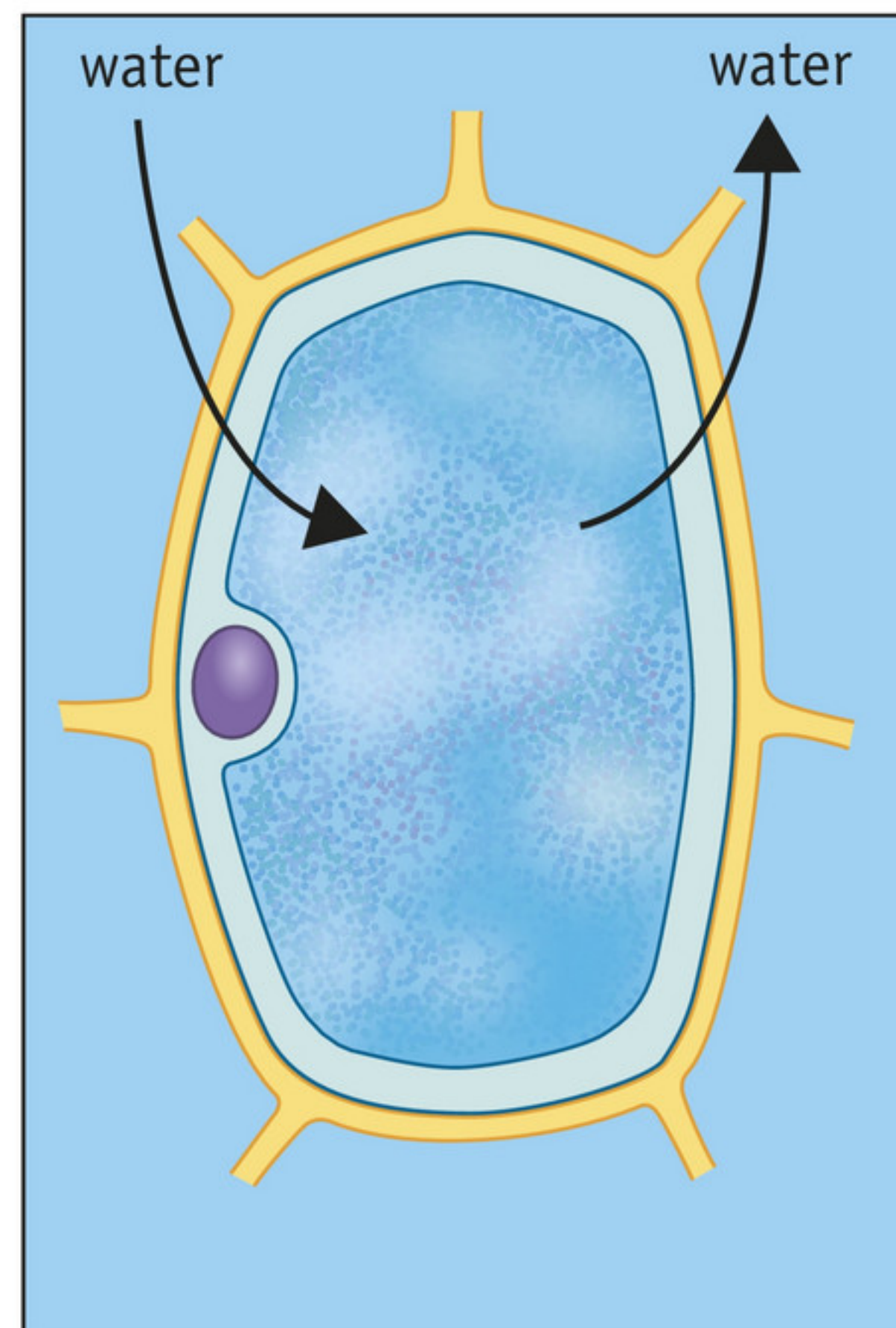


Een plantencel in een omgeving met een osmotische waarde die gelijk is aan de osmotische waarde van het cytoplasma, verliest zijn stevigheid. De druk op de celwand verdwijnt. Als de osmotische waarde van de omgeving van de cel hoger is dan de osmotische waarde van het cytoplasma, gaat water de cel uit. Hierdoor stijgt de osmotische waarde in de cel. Het celmembraan laat dan los van de celwand doordat de celwand niet kan krimpen. Dit verschijnsel heet **plasmolyse** (zie afbeelding 49 en 50). De interactie met andere cellen neemt hierdoor af en uiteindelijk gaat de cel dood. Hierbij verdwijnt het bladgroen en krijgt het afgestorven weefsel een bruine kleur.

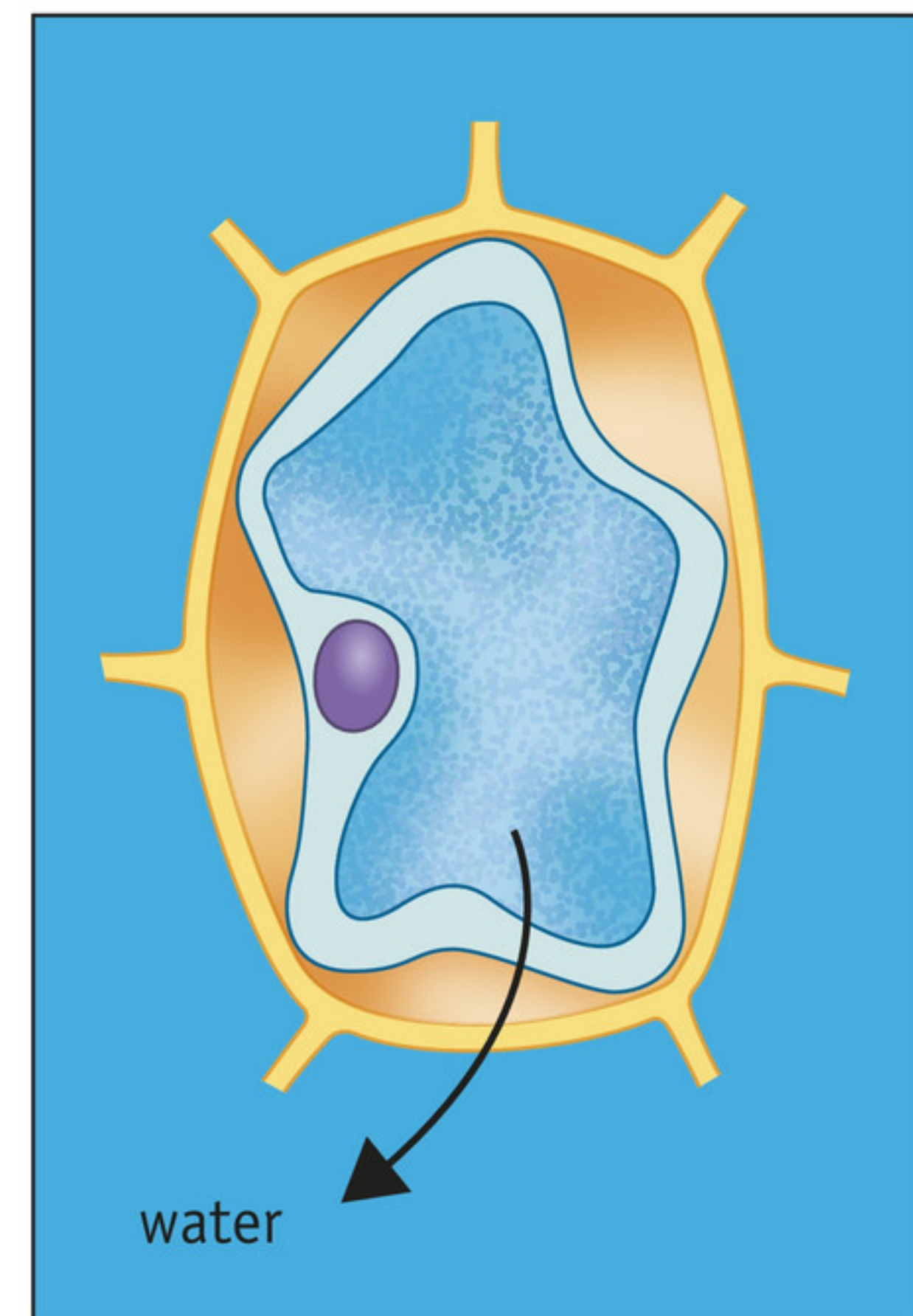
▼ **Afb. 50** De gevolgen van de verandering van de osmotische waarde in de omgeving van plantaardige cellen (schematisch).



1 Een turgescente cel. De omgeving heeft een lagere osmotische waarde (hypotoon).



2 De osmotische waarden zijn gelijk (isotoon).



3 Een cel in plasmolyse. De omgeving heeft een hogere osmotische waarde (hypertoon).

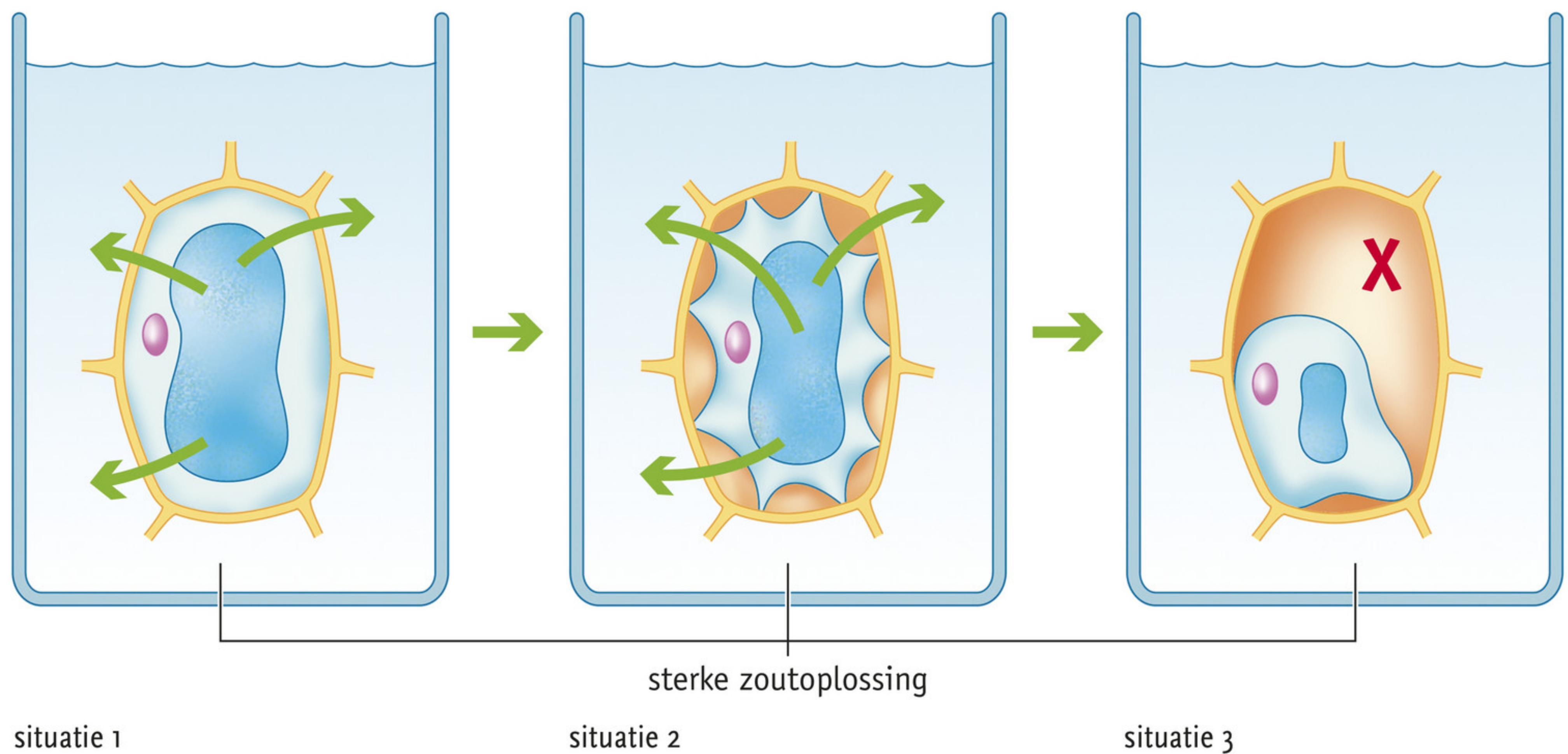
► PRACTICUMOPDRACHT 6

opdrachten

- 50 Fysiologische zoutoplossing is geschikt om vocht toe te dienen via een infuus in een bloedvat. Gedestilleerd water niet. Leg dit uit.
- 51 Een pantoffeldiertje wordt overgebracht van slootwater naar een bak met gedestilleerd water.
 - a Leg uit welk effect dit zal hebben op de frequentie waarmee een kloppende vacuole samentrekt.
 - b Een ander pantoffeldiertje wordt overgebracht naar een bak met zeewater. Leg uit welk effect dit zal hebben op de frequentie van het samentrekken van een kloppende vacuole.
- 52 Een plantaardige cel wordt in een zoutoplossing gebracht en er treedt plasmolyse op (zie afbeelding 51).
 - a Is in situatie 1 de osmotische waarde van de zoutoplossing hoger dan, gelijk aan of lager dan de osmotische waarde in de cel? Leg je antwoord uit.
 - b In welke van de drie getekende situaties is de osmotische waarde van de vacuole het hoogst? Leg uit waarom dit zo is.
 - c Wat bevindt zich bij X in situatie 3? Leg je antwoord uit.

- d Op een bepaald moment krimpt de vacuole van de plantaardige cel niet verder en wordt ook niet groter.
Wat is dan de osmotische waarde van het vacuolevocht, vergeleken met die van de zoutoplossing?
- e Wat gebeurt er met de cel van situatie 3 als deze in gedestilleerd water wordt gebracht? Ga ervan uit dat de cel nog leeft.

► Afb. 51

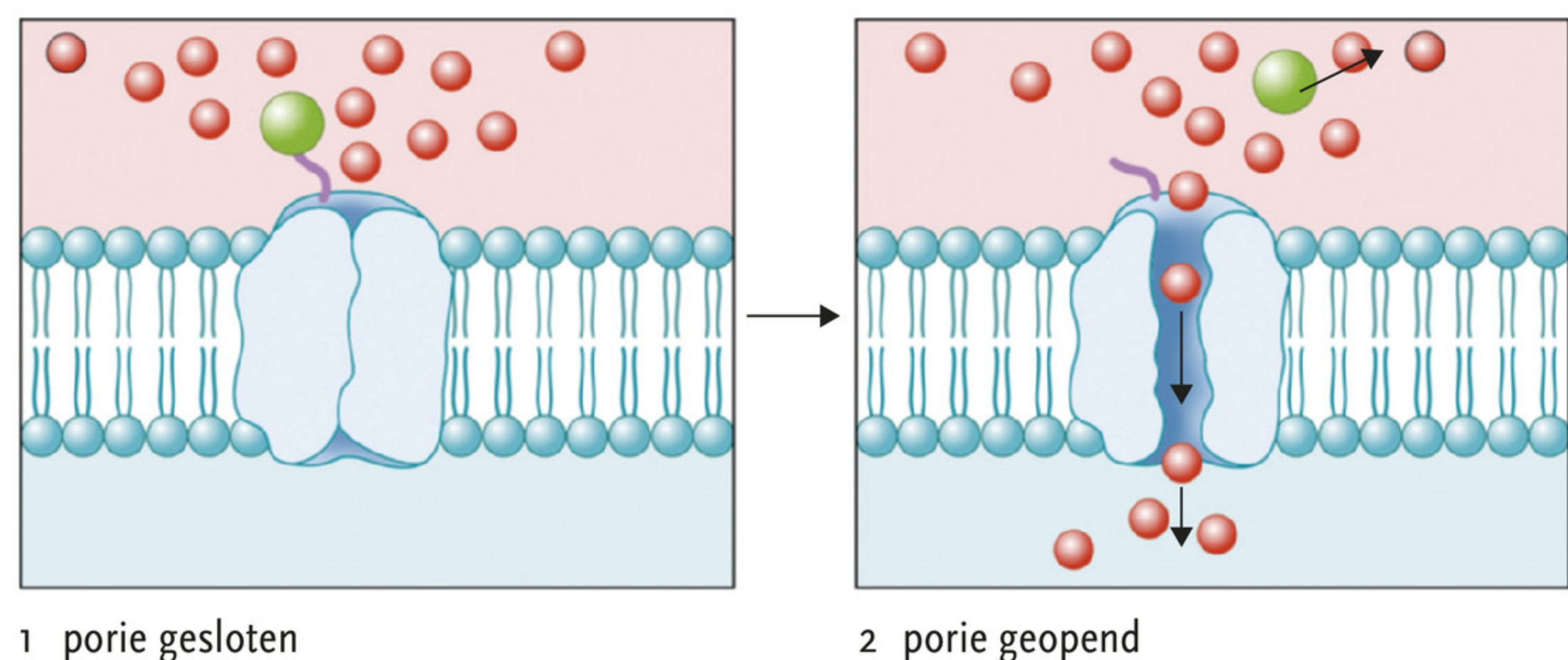


- 53 Wanneer je een salade maakt, is het beter om de slasaus vlak voordat je de salade opdient bij de sla te doen.
Leg uit wat er met de sla gebeurt als je slasaus erbij doet.

PASSIEF TRANSPORT

Een cel kan op een aantal manieren stoffen door het membraan transporteren. Stoffen kunnen verplaatsen van een hoge naar een lage concentratie van die stof. Het transport vindt dan plaats met het **concentratieverschil** mee. Voor deze vorm van transport is geen energie nodig. Dit noem je daarom **passief transport**. Diffusie en osmose zijn voorbeelden van passief transport. Het transport van stoffen via de fosfolipiden in een membraan gaat altijd van een hoge naar een lage concentratie. Dat geldt ook voor het transport via **porie-eiwitten** zoals aquaporines. Voor het **ionentransport** van bijvoorbeeld Na^+ , K^+ en Ca^{2+} , bestaan ook porie-eiwitten. Een cel kan de opname van een stof reguleren door een porie-eiwit te sluiten of juist te openen. Dat kan bijvoorbeeld doordat een bepaalde stof aan het porie-eiwit bindt. Hierdoor verandert de vorm van het porie-eiwit en wordt het eiwit ondoorlaatbaar of juist doorlaatbaar voor een bepaalde soort moleculen (zie afbeelding 52).

► Afb. 52 Een cel kan de doorlaatbaarheid van een porie-eiwit regelen.



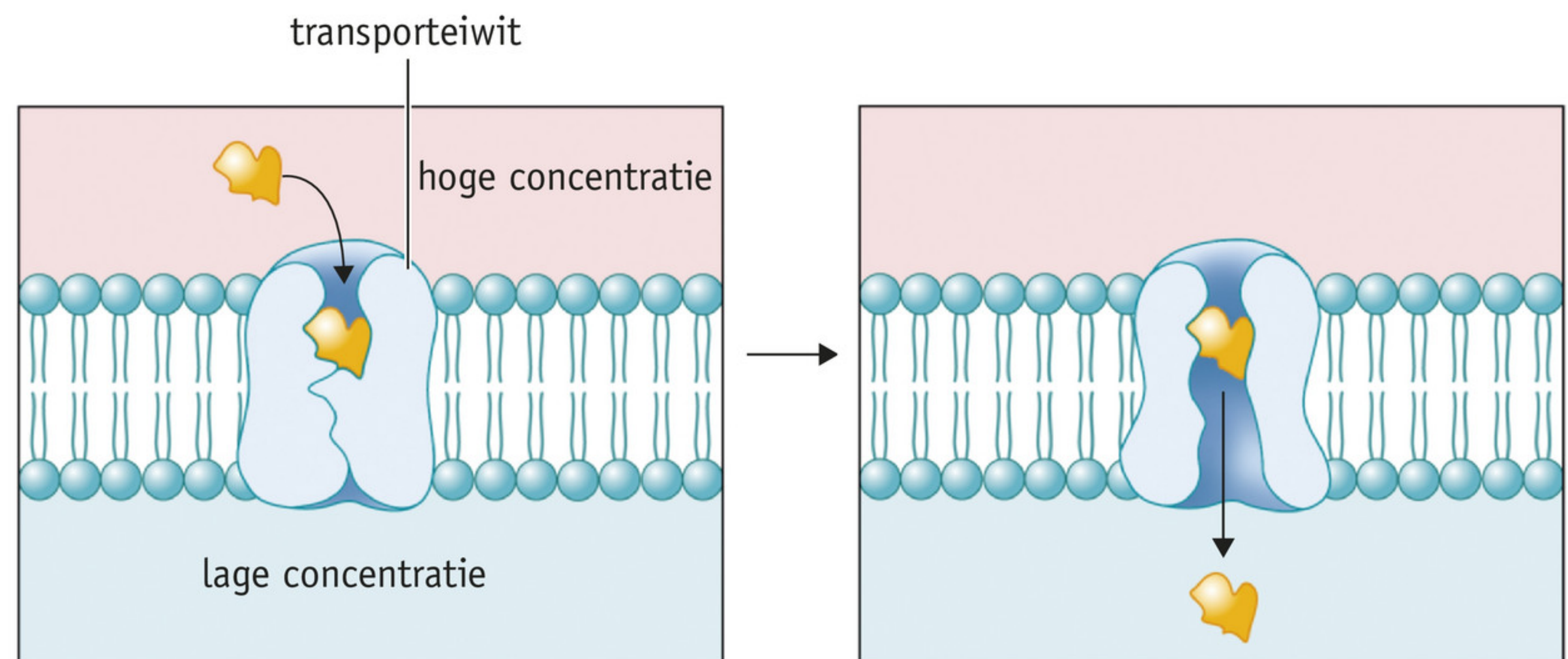
1 porie gesloten

2 porie geopend

In het celmembraan komen allerlei **transporteiwitten** voor. Zij hebben geen porie maar binden specifieke moleculen en transporteren ze van buiten naar binnen of omgekeerd. Bepaalde transporteiwitten maken het transport van grote moleculen zoals glucose mogelijk. Wanneer een glucosemolecuul bindt aan het membraan-eiwit, verandert de vorm van het eiwit. Hierdoor kan het molecuul het membraan passeren (zie afbeelding 53). Dit transport gebeurt door passief transport. Transporteiwitten kunnen maar één soort molecuul transporteren en zijn dus specifiek voor een bepaalde stof.

Voor veel stoffen is de snelheid van de diffusie afhankelijk van het aantal porie-eiwitten en transporteiwitten in het celmembraan. De hoeveelheid kan voor een stof per celtype verschillend zijn. Hoe groter het aantal, hoe sneller de diffusie van een stof kan verlopen.

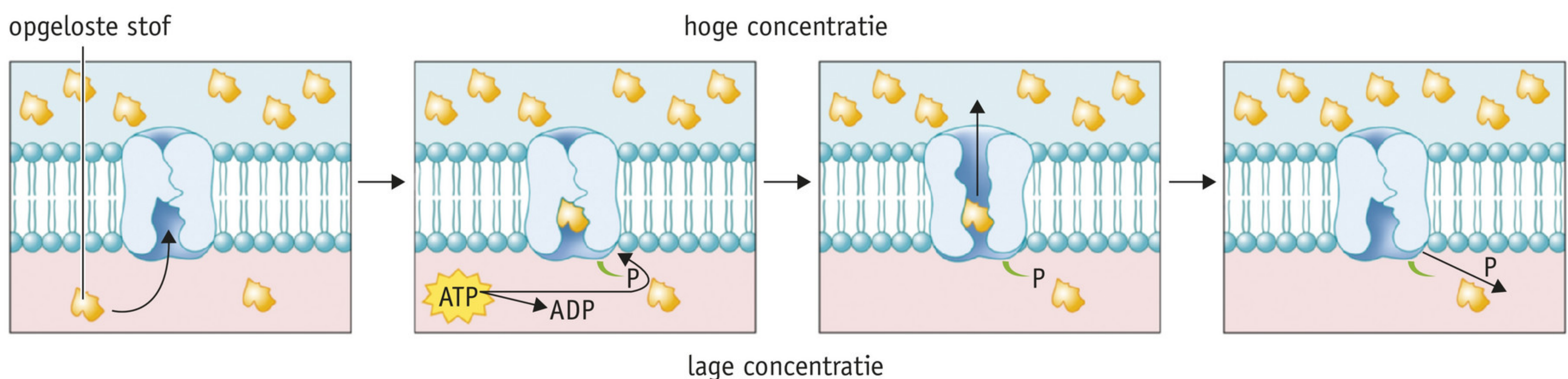
► **Afb. 53** De werking van een transporteiwit.



ACTIEF TRANSPORT

In een cel kan ook transport plaatsvinden tegen het concentratieverval in. Stoffen gaan dan via transporteiwitten in het membraan van een lage naar een hoge concentratie. Voor deze vorm van transport is energie nodig. Dit heet **actief transport**. ATP-moleculen (zie afbeelding 54) leveren meestal de energie.

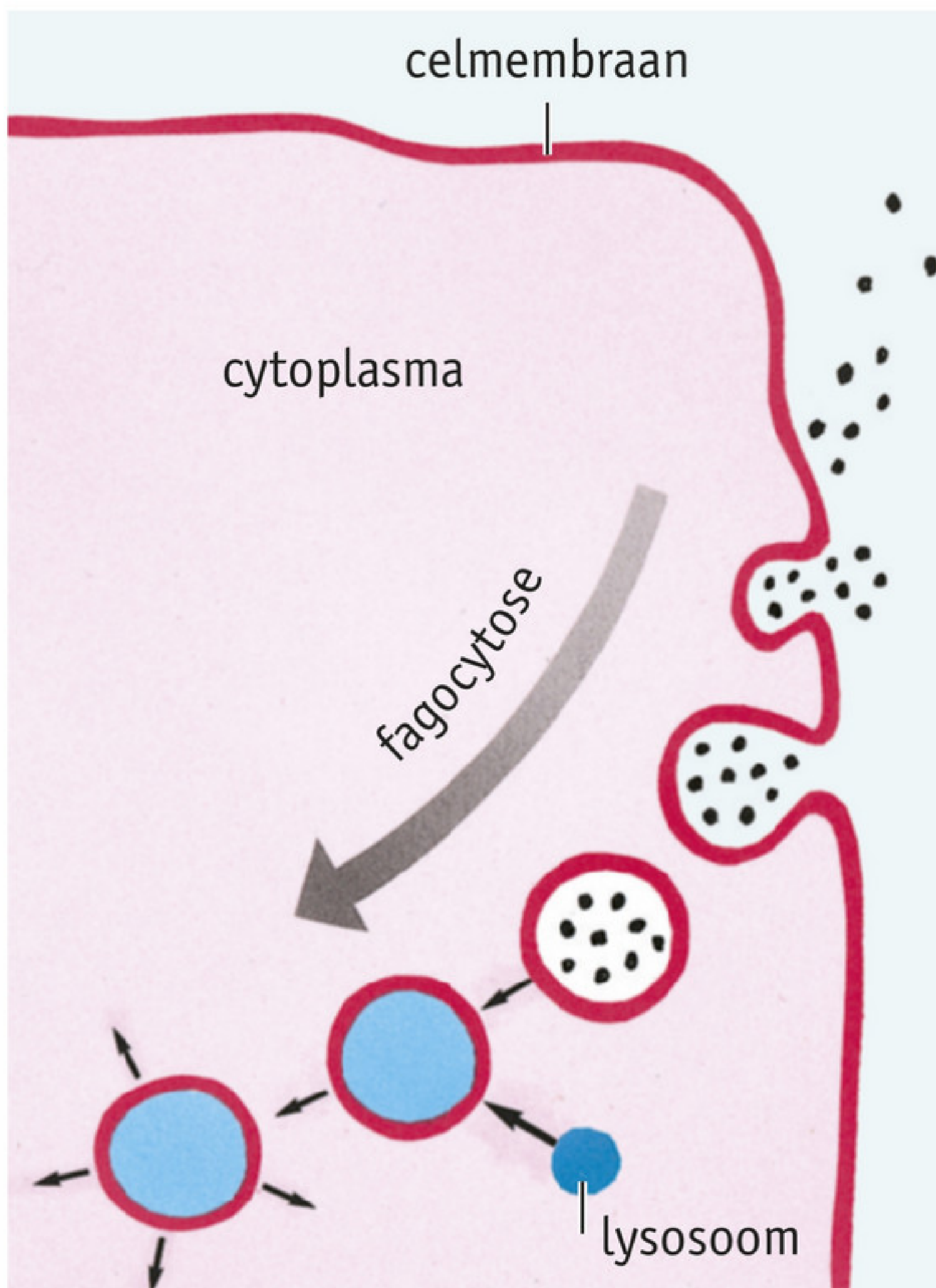
▼ **Afb. 54** Actief transport.



- 1 De opgeloste stof bindt met het transporteiwit.
- 2 ATP wordt omgezet in ADP en P, de vrijgekomen fosfaatgroep bindt met het transporteiwit.
- 3 Het eiwit verandert van vorm, de opgeloste stof verlaat aan de andere kant van het membraan het transporteiwit.
- 4 De fosfaatgroep laat los van het transporteiwit.

TRANSPORT VIA BLAASJES

Transport van stoffen kan plaatsvinden door het afsnoeren van blaasjes van het celmembraan. Dit is een actief proces. Blaasjes die afgesnoerd zijn van het golgisysteem, kunnen versmelten met het celmembraan en de eiwitten in het blaasje buiten de cel afgeven (secretie). Ook afvalstoffen kunnen cellen op een soortgelijke manier aan de omgeving afgeven.

▼ **Afb. 55** Fagocytose.

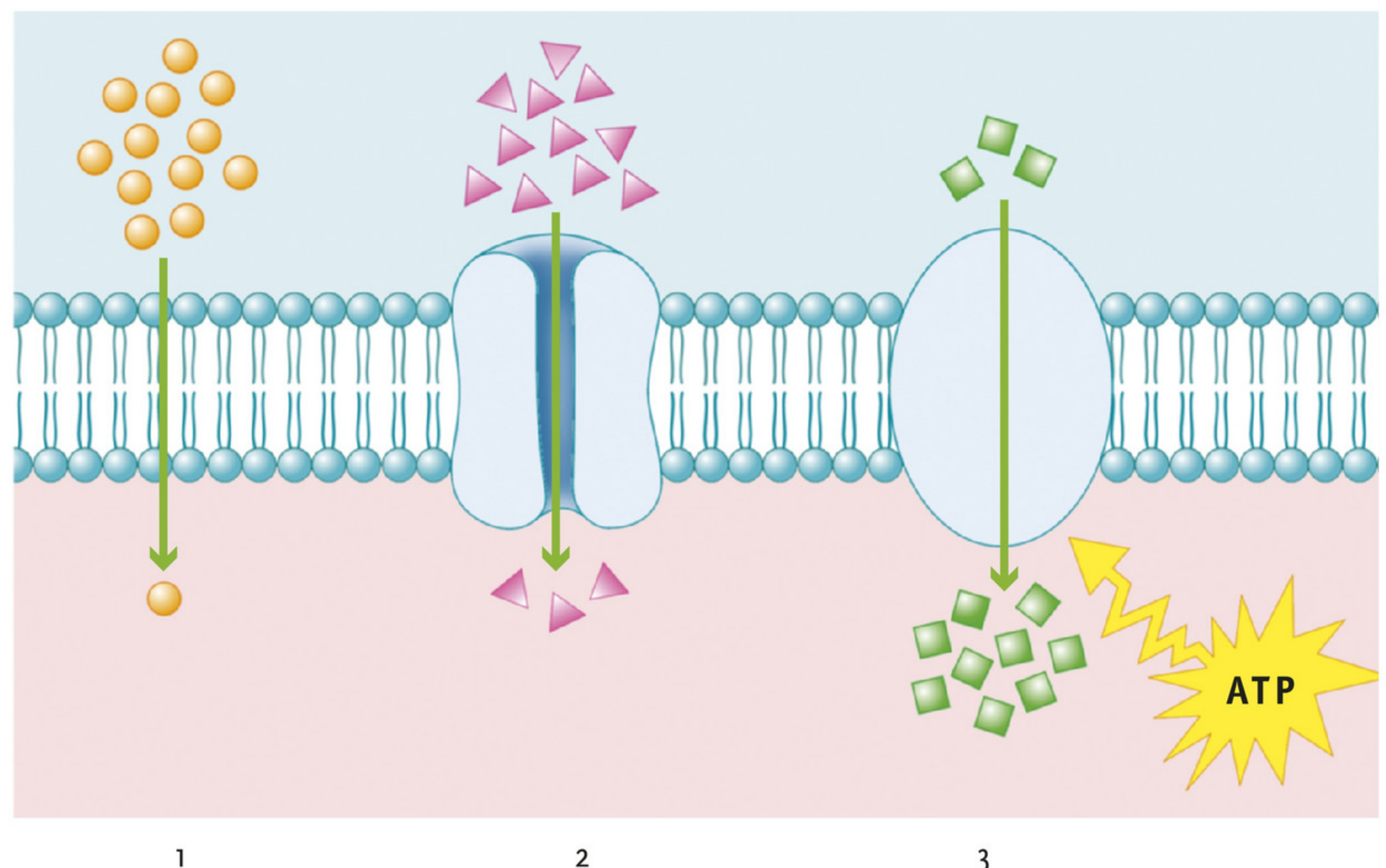
Veel cellen kunnen hun membraan ook laten instulpen om zo stoffen uit de omgeving op te nemen.

Het afsnoeren van blaasjes door het celmembraan om stoffen in de cel op te nemen, noem je **endocytose**. Het blaasje dat zich afsnoert van het celmembraan noem je een **endosoom**. In de cel versmelt het endosoom met een lysosoom, waarna enzymen uit het lysosoom de stoffen in het endosoom verteren. Via transporteiwitten komen de verteringsproducten in het cytoplasma. Wanneer via endosomen voedsel wordt opgenomen, heet dat **fagocytose** (zie afbeelding 55). Het blaasje met het ingesloten voedseldeeltje noem je een **voedingsvacuole**. Bij eencelligen zoals pantoffeldiertjes en amoeben, vindt de voedselopname op deze manier plaats. Door schijnvoetjes kan een amoebe een voedseldeeltje omgeven en in zich opnemen (zie afbeelding 56).

▼ **Afb. 56** Fagocytose bij een amoebe.

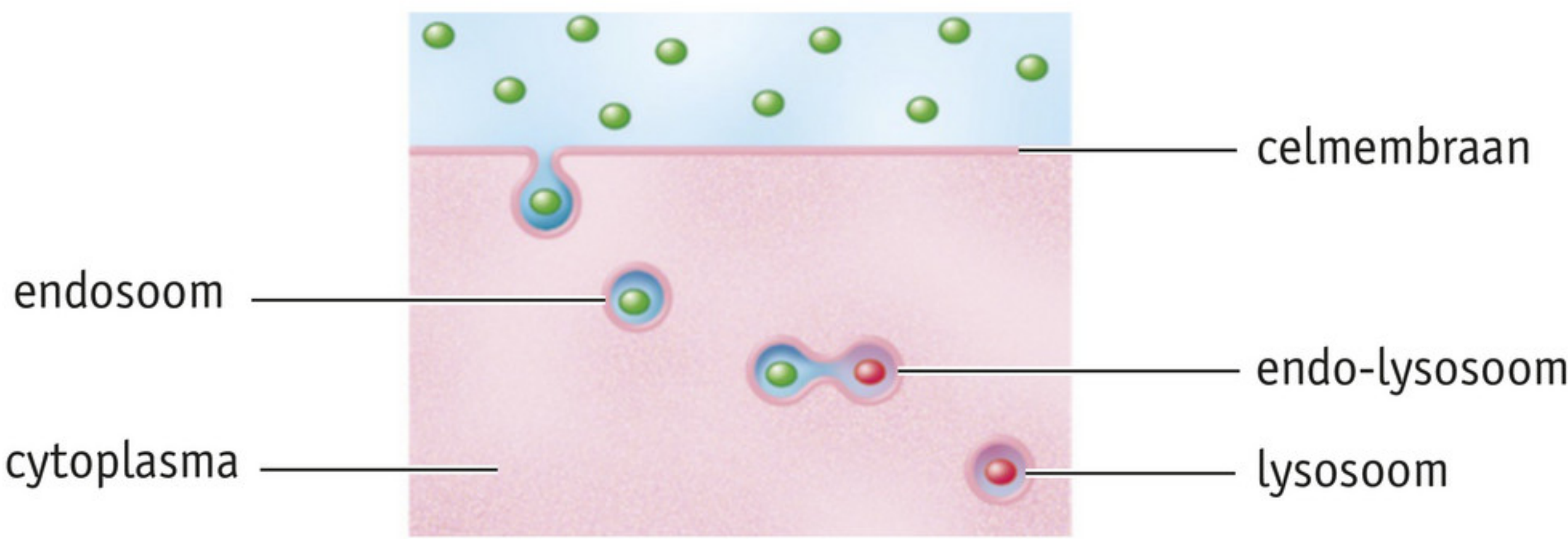
opdrachten

- 54** Longen nemen zuurstof op en geven koolstofdioxide af.
- Via welk proces vindt deze opname en afgifte plaats?
 - Gaat het transport van zuurstof en koolstofdioxide met concentratieverval mee, of vindt dit transport juist plaats tegen het concentratieverval in?
 - Kost het transport van zuurstof en koolstofdioxide door een celmembraan heen energie?
- 55** In afbeelding 57 zijn drie transportsystemen schematisch getekend.
- Noteer om welk transport het gaat.
 - Op welke twee manieren kan water een cel binnenkomen?
 - Na een koolhydraatrijke maaltijd bevat de voedselbrij in de dunne darm veel glucose.
Kosten het transport van glucose door celmembranen op dat moment energie? Leg je antwoord uit.

► **Afb. 57** Transport via een membraan.

► **Afb. 58** Een endosoom versmelt met een lysosoom.

56 Een endosoom kan samensmelten met een lysosoom (zie afbeelding 58). De inhoud van beide blaasjes vermengt zich dan.
Welk gevolg heeft dit voor de stoffen in het endosoom?



57 Ieder mens produceert slijm op diverse plaatsen in het lichaam. Bijvoorbeeld in de luchtwegen en in het darmkanaal. Mensen met taaislijmziekte of cystische fibrose (CF) produceren taaier en dikker slijm dan normaal, dat niet goed functioneert. Taai slijm voert ingeademde stofdeeltjes en bacteriën onvoldoende af. Dat kan leiden tot chronische longinfecties waardoor de longen steeds slechter gaan functioneren. Taaislijmziekte wordt veroorzaakt doordat een transporteiwit in de membranen van slijmproducerende cellen ontbreekt of niet goed functioneert en daardoor geen chloride-ionen naar het slijm transporteert.
Leg uit waarom slijm bij gezonde mensen door voldoende transport van chloride-ionen veel vloeibaarder is dan slijm bij mensen met taaislijmziekte.

58 In het schema staan verschillende manieren van transport in cellen. In de laatste kolom geef je aan of het transport van de hoeveelheid op te nemen stoffen kan worden gereguleerd.
Neem het volgende schema over en vul het in. Kies uit: *ja* – *nee*.

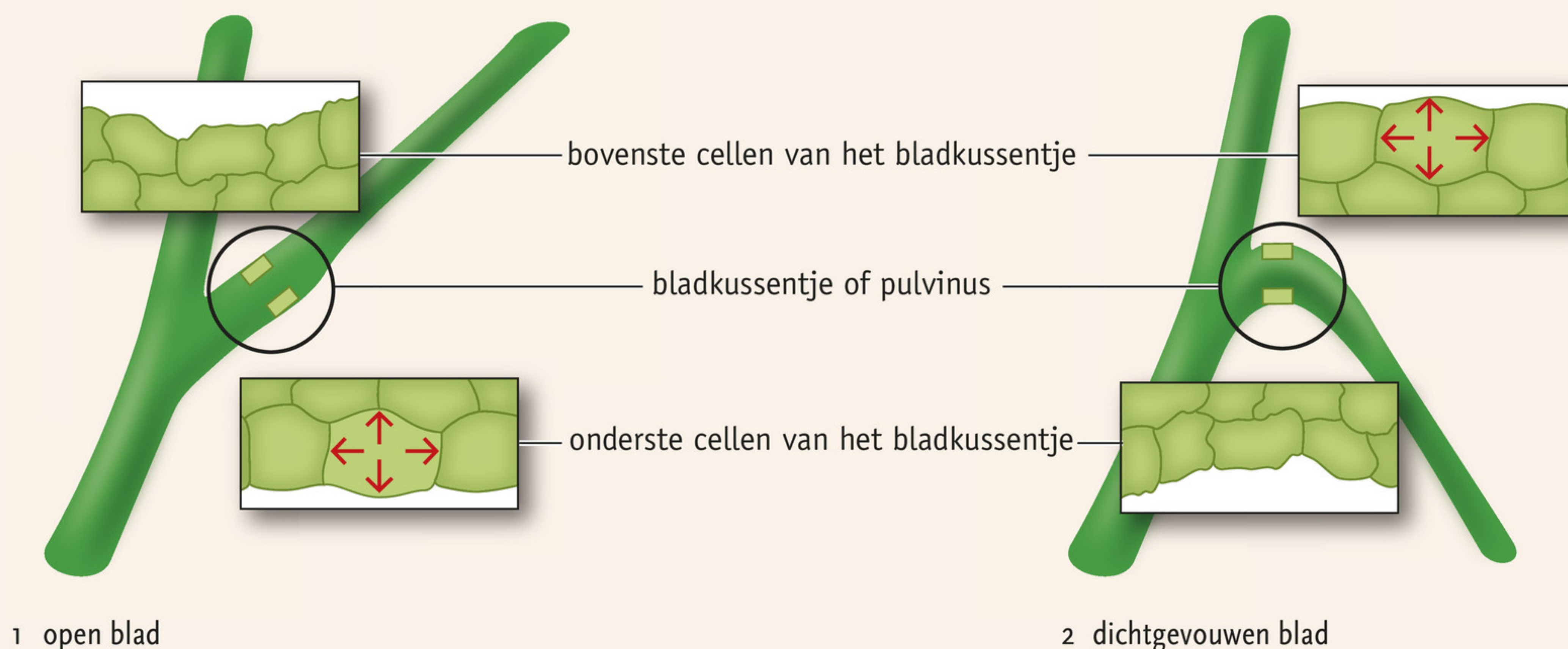
Manier	Is er energie nodig?	Is het specifiek voor een bepaalde stof?	Kan de opname van stoffen worden gereguleerd?
Diffusie door de fosfolipiden van het celmembraan			
Osmose			
Diffusie via een porie-eiwit			
Diffusie via een transporteiwit			
Actief transport via een transporteiwit			
Transport via endosomen			

Bewegen tegen vraat

In het tuincentrum is een bijzonder plantje te koop. Wanneer je kruidje-roer-me-niet (*Mimosa pudica*) aanraakt, vouwen de bladeren snel dicht. Een planteneter schrikt van de beweging en zal op zoek gaan naar een andere plant. Zo is de plant beschermd tegen vraat.

Een blad van deze plant zit met een verdikking onder aan de bladsteel vast aan de stengel. Deze verdikking heet het bladkussentje of *pulvinus*. Het bladkussentje bevat twee groepen cellen die de beweging van het blad mogelijk maken. Wanneer je het blad aanraakt, activeert dit de opname of afvoer van K^+ -ionen in de stengel. Diffusie zorgt ervoor dat het water snel uit de onderste cellen van een bladkussentje gaat. Hierdoor verliezen deze cellen hun turgor en zakken ze in elkaar. De bovenste cellen van het bladkussentje nemen juist snel water op waardoor de turgor in deze cellen toeneemt (zie afbeelding 59). Zo leidt opname of verlies van water door cellen tot verandering van de stand van een blad.

▼ **Afb. 59** Verandering van de stand van een blad van kruidje-roer-me-niet na aanraking.



opdrachten

- 59** In afbeelding 59 zie je dat de stand van een blad aan een stengel verandert door osmose.
- Hoe passeren K^+ -ionen het celmembraan?
 - De onderste cellen van het bladkussentje in afbeelding 59.1 zijn stevig door turgor.
Leg uit of de turgor is ontstaan door opname of door afvoer van K^+ -ionen.
 - Is het transport van K^+ -ionen in afbeelding 59.1 passief of actief? Leg je antwoord uit.
 - Hoe wordt het water snel de cel in getransporteerd?
 - In afbeelding 59.2 zijn de onderste cellen van het bladkussentje hun turgor verloren nadat K^+ -ionen uit de cel zijn getransporteerd na een aanraking. Gebeurt dit door passief of actief transport? Leg je antwoord uit.
- 60** Wetenschappers ontdekten dat in de cellen van een bladkussentje die hun turgor hebben verloren, stukjes microfilamenten voorkomen.
Leg uit hoe dat komt.

Leerdoelen

- Je kunt verschillende typen en methoden van natuurwetenschappelijk onderzoek beschrijven.
- Je kunt een werkplan maken voor het uitvoeren van een natuurwetenschappelijk onderzoek.

6 Natuurwetenschappelijk onderzoek

Door natuurwetenschappelijk onderzoek proberen biologen antwoord te krijgen op vragen als: Waarom zijn Nederlanders zo lang? Heeft ginseng een medicinale werking en verlengt het de levensduur van mensen? Wat was de invloed van wolharige mammoeten op het Nederlandse landschap?

ONDERZOEKEN

Alle biologische kennis die er nu is, is afkomstig van onderzoek. Door nieuwe wetenschappelijke onderzoeken naar de levende natuur, groeit de biologische kennis nog steeds. Een bioloog die zich bezighoudt met wetenschappelijk onderzoek stelt zichzelf vragen over verschijnselen die hij in de levende natuur waarneemt. Wanneer hij zich heeft verdiept in de bestaande literatuur of onderzoeken over een verschijnsel, kan het zijn dat hij geen antwoord vindt op zijn vragen. Hij kan het natuurverschijnsel dan ervaren als een **natuurwetenschappelijk probleem**. Hij formuleert vervolgens een **onderzoeksvraag** en probeert hier antwoord op te krijgen door een natuurwetenschappelijk onderzoek uit te voeren. Doordat onderzoeksvragen heel verschillend kunnen zijn, zijn ook de typen onderzoek en de onderzoeksmethoden om op die vragen een antwoord te vinden, heel verschillend. Hierna volgt een beschrijving van een aantal typen onderzoek.

Beschrijvend onderzoek

Observeren speelt bij elke onderzoeksmethode een rol. De onderzoeker let tijdens zijn onderzoek op bepaalde eigenschappen van het verschijnsel dat hij bestudeert. Observatie is een gerichte activiteit dat met van tevoren vastgestelde afspraken en nauwkeurig moet worden uitgevoerd. Soms is het verzamelen van observaties de enige onderzoeksmethode om antwoord te krijgen op een vraag, bijvoorbeeld wanneer een onderzoeker het gedrag van organismen bestudeert. Een onderzoeker kan ook metingen uitvoeren en gegevens verzamelen om antwoord te krijgen op een vraag. De verzamelde gegevens noem je **data**. Vervolgens geeft de onderzoeker de waarnemingen duidelijk weer met woorden, tekeningen, schema's en/of foto's. Zo kun je bijvoorbeeld weefsels van verschillende organismen met een microscoop observeren en waarnemen dat alle organismen uit cellen bestaan. Je kunt ook gegevens over het DNA van een organisme inventariseren. Of in kaart brengen welke plantensoorten er aan de rand van een sloot groeien. Deze onderzoeken zijn voorbeelden van een **beschrijvend onderzoek**. Bij een beschrijvend onderzoek probeer je vanuit veel specifieke gevallen (de verzamelde data of observaties) tot een algemene regel te komen (een conclusie). Beschrijvend onderzoek kan ook leiden tot het opstellen van hypothesen.

Hypothesetoetsend onderzoek

Een **hypothese** is een mogelijke verklaring voor een waarneming van een verschijnsel of een mogelijk verband tussen verschijnselen. Een hypothese is een veronderstelling gebaseerd op biologische kennis en ervaring. Bij een **hypothesetoetsend onderzoek** bedenkt een onderzoeker een methode om een hypothese te toetsen. Dat kan bijvoorbeeld met een experiment. De onderzoeker manipuleert de werkelijkheid door een **experimenteergroep** bloot te stellen aan een bepaalde factor die hij wil onderzoeken. Daarnaast is er een zogenaamde **controlegroep**, waarbij dit niet gebeurt (de **blancoproef**). Experimenten kun je uitvoeren in een laboratorium of in een veldsituatie.

Etholoog (gedragsbioloog) Frans de Waal vroeg zich af of bruine kapucijner-aapjes onrechtvaardigheid afkeuren. Uit eigen observaties en die van anderen heeft De Waal de conclusie getrokken dat niet alleen mensen maar ook dieren, zoals olifanten en dolfijnen, een gevoel voor eerlijkheid kennen. Hij verwacht daarom dat bruine kapucijneraapjes onrechtvaardigheid afkeuren. Hij voerde een experiment uit in het laboratorium om deze hypothese te toetsen. Daarvoor liet hij twee kapucijneraapjes in een kooi een taak uitvoeren. De aapjes gaven een steen aan hem en kregen als beloning daarvoor een stuk komkommer of een druif. Bruine kapucijneraapjes vinden druiven het lekkerst. Het eerste aapje at het stuk komkommer meteen op nadat hij het als beloning had gekregen. Hij was er blijkbaar heel tevreden mee. Hij zag daarna dat het tweede aapje een druif als beloning kreeg. Toen het eerste aapje vervolgens weer een stuk komkommer kreeg, smiet hij deze weg. Uit het experiment blijkt dat een bruine kapucijneraap negatief reageert op ongelijke beloning voor dezelfde inspanning.

Je kunt ook met andere onderzoeksmethoden gegevens verzamelen om een hypothese te toetsen. Bijvoorbeeld door het houden van een interview of een online-enquête: een aantal personen wordt mondeling of schriftelijk bevraagd. Dit gebeurt meestal in de vorm van een **steekproef**. Onderzoekers selecteren een deel van de te onderzoeken groep, omdat het niet mogelijk is alle personen te bevragen. Het is belangrijk dat de steekproef representatief is. Een representatieve steekproef is een goede afspiegeling van de te onderzoeken groep. Onderzoekers kunnen ook een literatuuronderzoek uitvoeren. Je maakt dan gebruik van bestaande informatie.

Ontwerpend onderzoek

Bij **ontwerpend onderzoek** ontwikkelt een onderzoeker materialen, instrumenten, modellen of systemen als antwoord op een onderzoeksvraag. Zo kunnen cellen en weefsels veel beter worden onderzocht sinds de ontwikkeling van elektronen-microscopen. En het onderzoek naar DNA is veel gemakkelijker geworden sinds Kary Banks Mullis heeft bedacht hoe je DNA in een apparaat heel snel kunt vermenigvuldigen. Mullis kreeg hiervoor in 1993 de Nobelprijs voor scheikunde. Wetenschappers werken ook met **modellen**. Een model is een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid. Met een model kun je bijvoorbeeld door een virtueel experiment op de computer, een onderzoeksvraag beantwoorden, omdat dat met een echt experiment niet kan of heel moeilijk is. Het gebruik van modellen voor onderzoek noem je **modelleren**.

FASEN VAN EEN NATUURWETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK

Het hypothesetoetsend onderzoek wordt gezien als hét model voor een natuurwetenschappelijk onderzoek. Bij onderzoek ga je steeds op dezelfde manier te werk. Bij het hypothesetoetsend onderzoek doorloop je de volgende fasen.

Waarneming

Een onderzoek begint vaak bij iets wat je opvalt of bij iets wat je waarneemt (observatie) en waarvan je je vervolgens afvraagt hoe dat zit. Het is de waarneming van een bepaald natuurverschijnsel dat in aanmerking komt voor verder onderzoek.

Onderzoeksvraag

Wanneer je een natuurverschijnsel ervaart als een natuurwetenschappelijk probleem dat je wilt onderzoeken, formuleer je hierbij een onderzoeksvraag. Met deze vraag kun je op zoek naar het antwoord. Een onderzoeksvraag kan ook

ontstaan naar aanleiding van eerder onderzoek of na literatuuronderzoek. De vraag maakt duidelijk wat je precies wilt weten en wat je gaat onderzoeken.

Hypothesevorming

In deze fase probeer je een mogelijke verklaring voor het probleem te geven. Je stelt hiervoor een hypothese op, meestal op basis van wat al bekend is. Op grond van de hypothese kun je een **verwachting** uitspreken over de uitkomst van het onderzoek. Je geeft aan welke resultaten jouw metingen waarschijnlijk hebben of welke observaties je wellicht doet als de hypothese juist is.

Experimentele fase

In deze fase vindt de echte uitvoering van het onderzoek plaats. Bij hypothese-toetsend onderzoek doe je dat meestal met een experiment waarmee je toetst of de opgestelde hypothese klopt. In de experimentegroep stel je organismen bloot aan een bepaalde factor. In de controlegroep voer je hetzelfde experiment uit, maar nu is deze factor afwezig (blancoproef). Per experiment kun je maar één factor tegelijk onderzoeken. Alle andere omstandigheden moeten bij de experimentegroep en bij de controlegroep gelijk zijn. Om betrouwbare gegevens te krijgen, moeten beide groepen uit grote aantallen bestaan. De experimentele fase kan ook bestaan uit het vergelijken van twee of meer groepen zonder dat er een experiment wordt uitgevoerd.

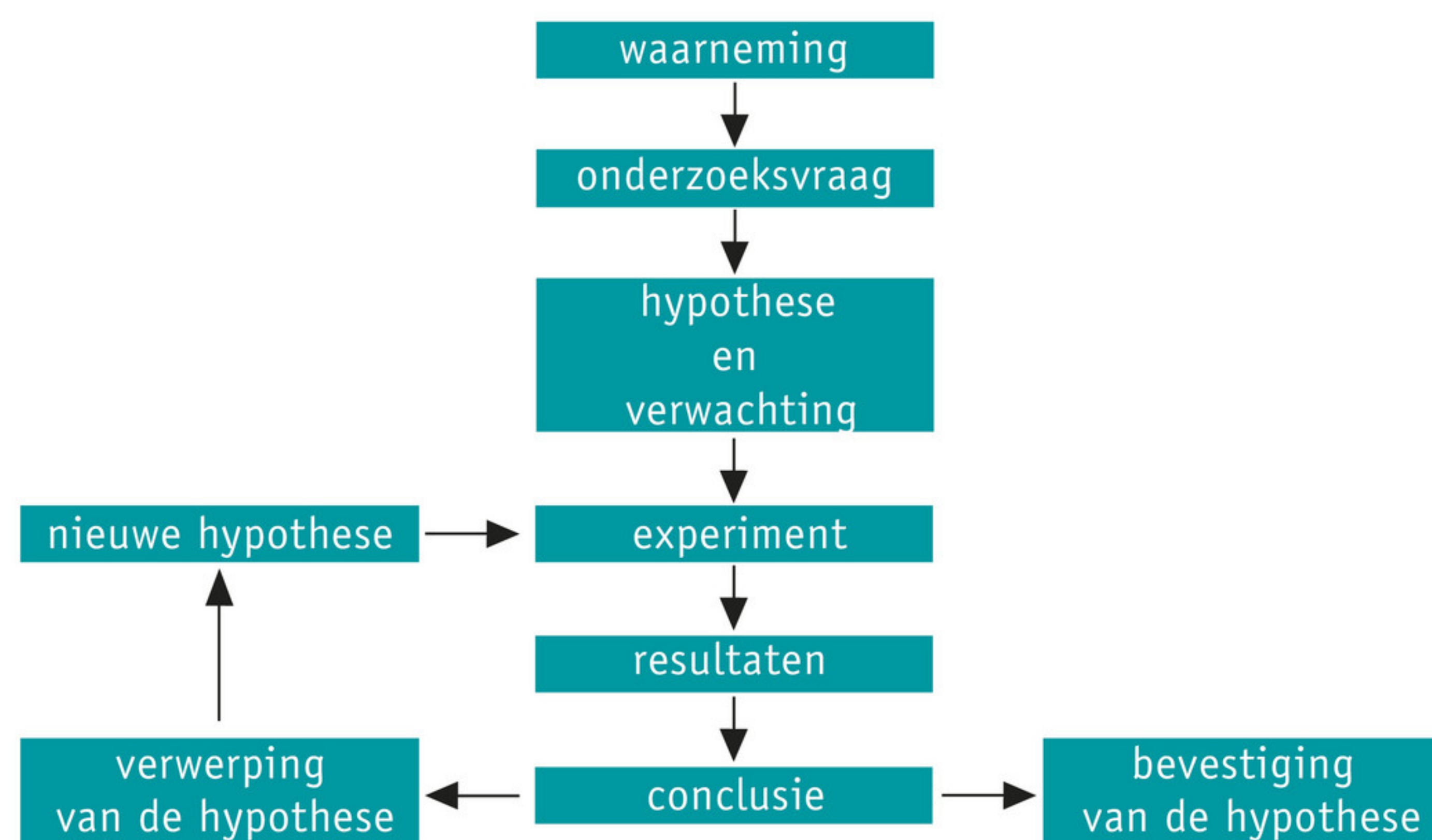
Resultaten

In deze fase verzamel je (meet)gegevens of observaties. De **resultaten** geef je zo overzichtelijk mogelijk weer. Dat kan in de vorm van tabellen, grafieken of diagrammen.

Conclusie

Met de resultaten en alle informatie die je in de literatuur hebt opgezocht, ga je antwoord geven op de onderzoeksvraag. Dit antwoord noem je ook wel de **conclusie**. Komt de conclusie overeen met de geformuleerde hypothese, dan is de hypothese juist of bevestigd. Wanneer de hypothese onjuist blijkt te zijn, wordt de hypothese verworpen. Je kunt dan een nieuwe hypothese opstellen en deze met een nieuw experiment toetsen (zie afbeelding 6o).

► **Afb. 6o** Fasen van een natuurwetenschappelijk onderzoek.



Bij andere typen onderzoek doorloop je niet alle fasen van een natuurwetenschappelijk onderzoek. Bij beschrijvend onderzoek stel je bijvoorbeeld geen hypothese op en voer je geen experiment uit, maar verzamel je metingen of observaties. Bij ontwerpend onderzoek stel je ook geen hypothese op.

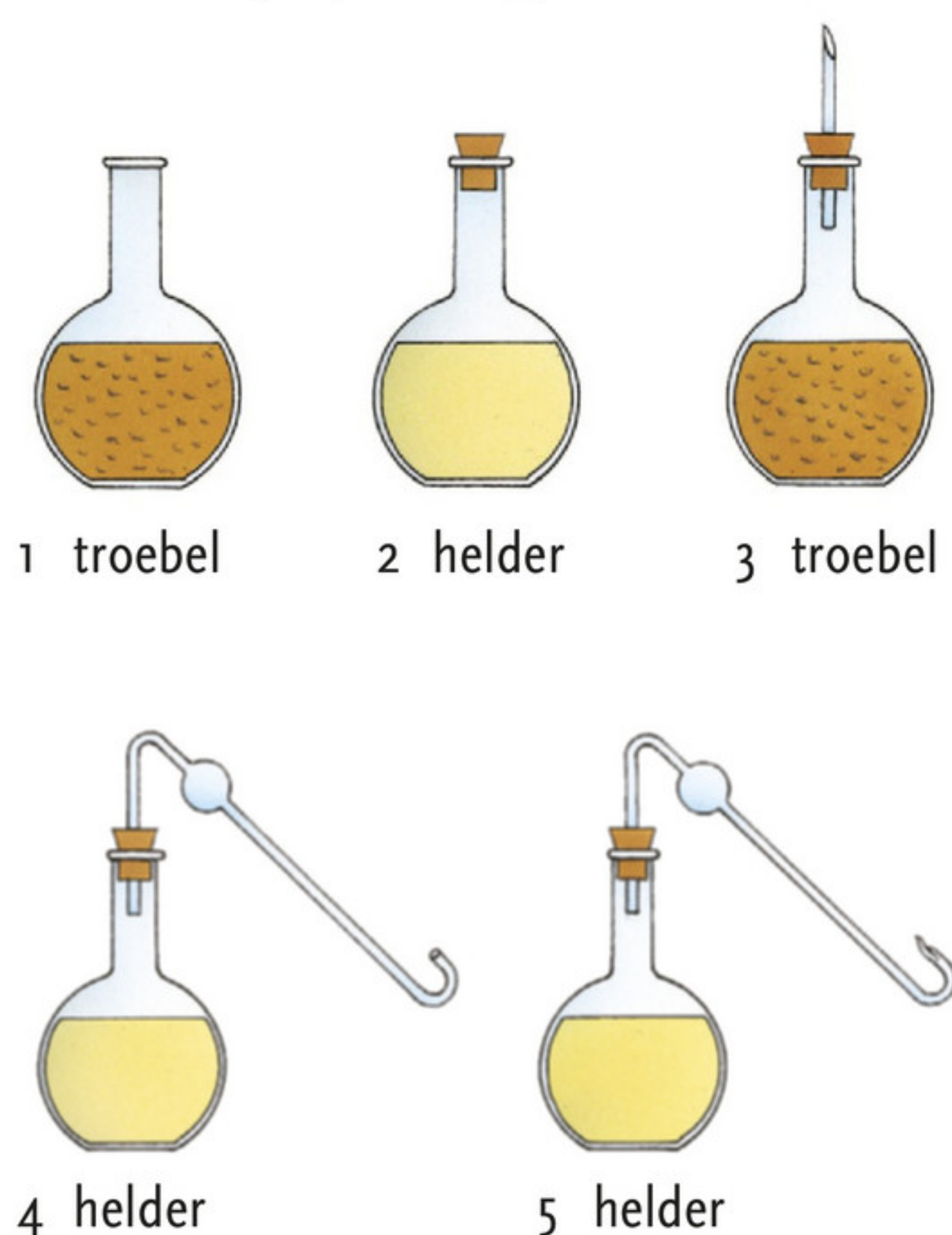
Een beschrijving van een natuurwetenschappelijk onderzoek kan als boek verschijnen of wordt gepubliceerd in wetenschappelijke tijdschriften zoals *Nature* en *Science*. Een onderzoeker wordt vaak beoordeeld op het aantal en de kwaliteit van zijn wetenschappelijke publicaties. Soms staan vereenvoudigde samenvattingen in populairwetenschappelijke tijdschriften als *Kijk* en *NWT Magazine*, of in wetenschappelijke bijlagen van kranten.

THEORIEËN

Als verschillende, logisch samenhangende hypothesen door experimenten juist blijken te zijn, kan dit leiden tot het opstellen van een **theorie**. Door de eeuwen heen zijn er bijvoorbeeld verschillende theorieën opgesteld over het ontstaan van het leven. Heel lang gingen wetenschappers uit van de theorie van de **generatio spontanea**. Volgens deze theorie kunnen organismen ontstaan uit levenloze of dode stoffen. De theorie dateert al van vóór het begin van onze jaartelling en had tot in de negentiende eeuw aanhangers. Sommige experimenten ondersteunden de theorie van de *generatio spontanea* terwijl andere experimenten deze theorie tegenspraken. Volgens het experiment van Jan Baptist van Helmont (1579–1644) ontstonden muizen uit vuil wasgoed en graankorrels. De Italiaan Redi (1626–1698) twijfelde aan de theorie. Hij bedacht dat maden in rottend vlees misschien waren ontstaan uit de eieren van vliegen. Toen Van Leeuwenhoek (1632–1723) met zijn eenvoudige microscopen eencelligen in water ontdekte, kon hij niet verklaren hoe deze organismen in het water waren ontstaan. De theorie van de *generatio spontanea* kreeg toen nog meer aanhang. Uiteindelijk werd de theorie in 1860 verworpen. De Fransman Pasteur toonde toen met een experiment aan dat overal in de lucht, in de bodem en in het water organismen aanwezig zijn, maar dat het ook mogelijk is om een oplossing vrij te houden van deze organismen (zie afbeelding 61). Door koken maakte hij de oplossing (bouillon) vrij van organismen, dus steriel. De oplossing bleef dan helder.

Niet alleen hypothesetoetsend onderzoek kan leiden tot een theorie. Ook de conclusies van beschrijvend onderzoek kunnen een belangrijke bijdrage leveren aan het opstellen van een theorie. De bioloog Darwin deed vooral beschrijvend onderzoek, waarin hij veel waarnemingen verzamelde die leidden tot de evolutietheorie. De observaties van het beschrijvende onderzoek van Antoni van Leeuwenhoek hebben in belangrijke mate bijgedragen aan de celtheorie: alle organismen bestaan uit cellen. Elke theorie is geldig tot het tegendeel wordt aangetoond. Alle huidige theorieën over de levende natuur zijn dus betrekkelijk. Er zijn nog veel vragen waarop geen antwoord is gegeven. Door verder wetenschappelijk onderzoek kunnen de huidige theorieën worden verworpen of aangepast.

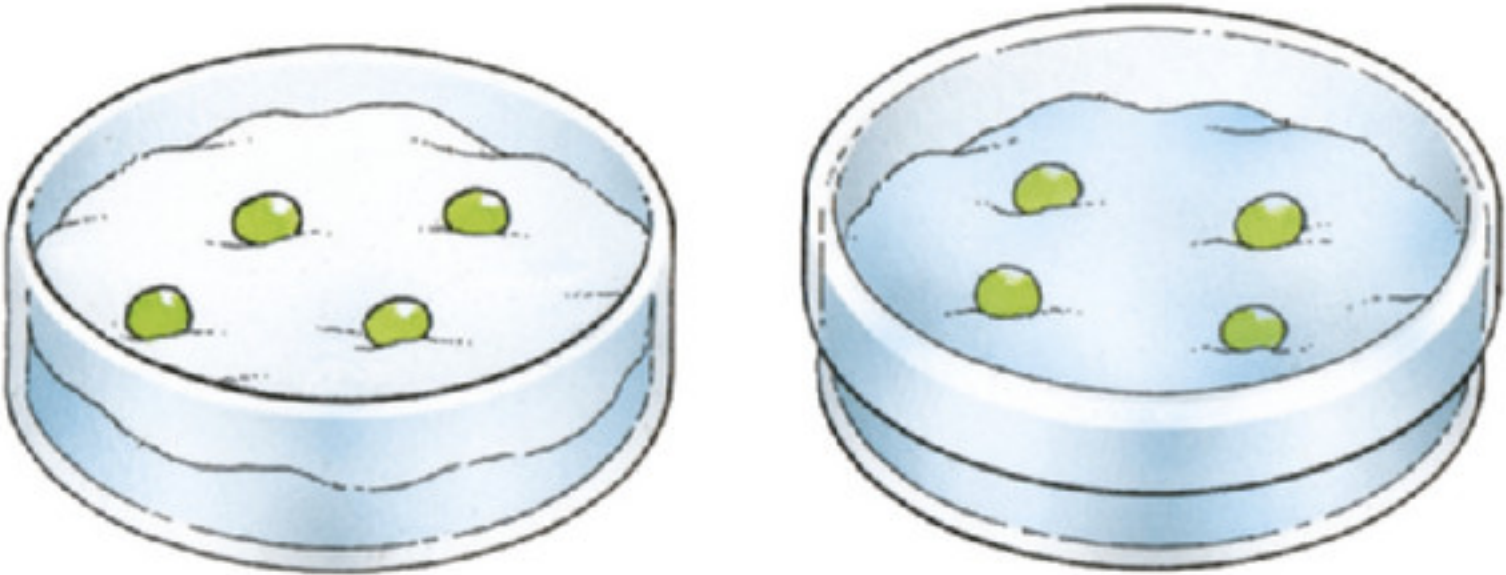
▼ **Afb. 61** Resultaten van de experimenten van Louis Pasteur. In elke kolf zit bouillon die lange tijd heeft gekookt.



opdrachten

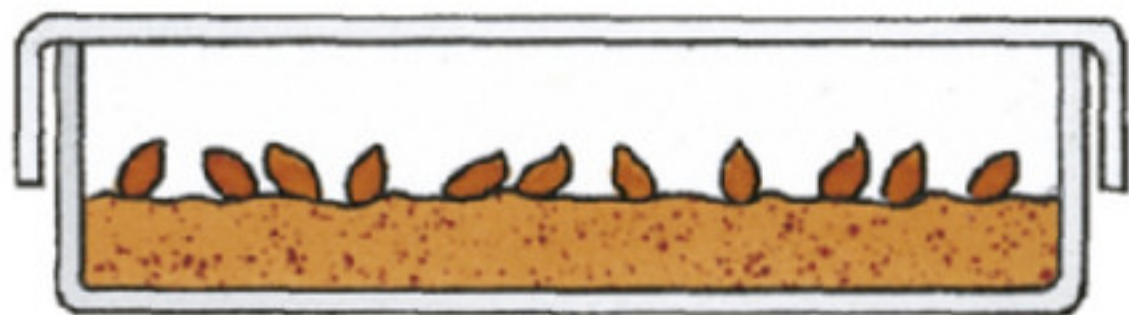
- 61 Waarom wordt in een experiment een blancoproef opgenomen?
- 62 In afbeelding 15 is een replica van de microscoop van Antoni van Leeuwenhoek te zien.
 - a Is de microscoop tot stand gekomen door beschrijvend, hypothesetoetsend of ontwerpend onderzoek?
 - b Antoni van Leeuwenhoek ontdekte met zijn microscoop dat weefsels uit cellen bestaan.
Ligt hieraan beschrijvend, hypothesetoetsend of ontwerpend onderzoek ten grondslag? Leg je antwoord uit.

▼ Afb. 62



1 schaal met natte watten 2 schaal met droge watten

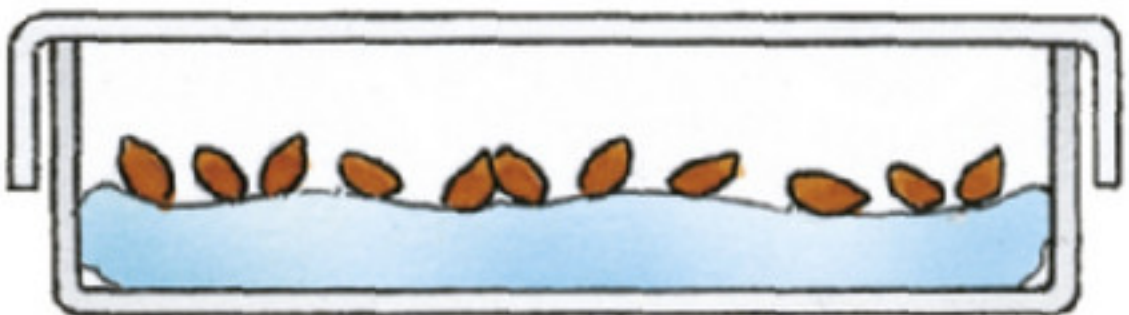
▼ Afb. 63



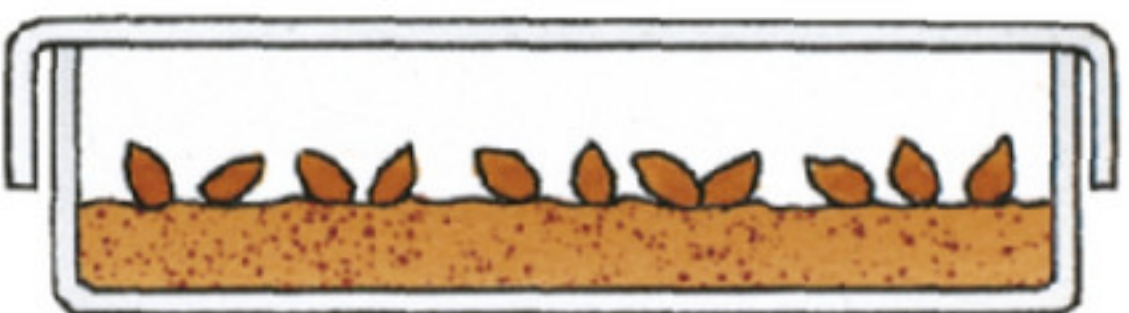
1 natte aarde: temperatuur 20 °C



2 natte watten: temperatuur 6 °C



3 natte watten: temperatuur 20 °C



4 natte aarde: temperatuur 6 °C

c Twee leerlingen voeren op school een onderzoek uit waarbij ze twee groepen vergelijken. Ze verzamelen gegevens van jongeren die ontbijten en van jongeren die niet ontbijten. Ze vermoeden dat jongeren die ontbijten slanker zijn dan jongeren die niet ontbijten. De conclusie is dat jongeren die ontbijten inderdaad slanker zijn.
Is deze conclusie tot stand gekomen door beschrijvend, hypothesetoetsend of ontwerpend onderzoek? Leg je antwoord uit.

- 63 Gedragsbioloog Frans de Waal onderzocht of bruine kapucijneraapjes onrechtvaardigheid afkeuren.
- a Wat is de controlegroep in het experiment van Frans de Waal? Leg je antwoord uit.
 - b Bij een onderzoek naar de invloed van nicotine (een stof in tabaksrook) wordt gebruikgemaakt van ratten. De experimenteergroep bestaat uit vier groepen ratten. Elke groep krijgt per etmaal een bepaalde hoeveelheid nicotine-oplossing ingespoten en wordt in een omgeving gebracht waar de temperatuur 25 °C is.
Beschrijf hoe de controlegroep bij dit experiment moet worden behandeld.
- 64 Een leerling onderzoekt de invloed van water op de ontkieming van erwten. De proefopstelling bevat enkele onnauwkeurigheden (zie afbeelding 62). Beschrijf twee manieren waarop je de proefopstelling kunt verbeteren.
- 65 Je onderzoekt de ontkieming van zaden. Je legt in vier schalen droge zaden (zie afbeelding 63). Je wilt de invloed van temperatuur op de kieming onderzoeken.
Welke van deze schalen moet je met elkaar vergelijken?

▼ Afb. 64

ONDERZOEK		HET ONTSTAAN VAN MADEN IN ROTTEND VLEES	
Inleiding	In rottend vlees zijn al snel maden te zien. In de tijd van Redi dachten mensen dat maden spontaan in rottend vlees ontstonden. Redi betwijfelde dat. Hij dacht dat de maden misschien ontstaan uit eieren van vliegen.		
Onderzoeksvraag	Ontstaan maden in rottend vlees uit de eieren van vliegen?		
Hypothese	Maden in rottend vlees ontstaan uit de eieren van vliegen.		
Experiment	  1 experimenteergroep 2 controlegroep		
Resultaat	Na afloop van het experiment:   1 experimenteergroep 2 controlegroep		
Conclusie	Maden in rottend vlees ontstaan uit de eieren van vliegen. De hypothese is juist (aangenomen).		

- 66** In afbeelding 64 zie je de fasen van een natuurwetenschappelijk onderzoek van Francesco Redi (1668).
De tegenstanders van Redi waren niet overtuigd. Zij beweerden dat er geen leven in de afgesloten potten kon ontstaan doordat er geen verse lucht in kon doordringen. Zij waren ervan overtuigd dat lucht levenskracht bezit. Beschrijf een proefopstelling waarmee Redi zijn tegenstanders gemakkelijk had kunnen overtuigen.
- 67** In afbeelding 61 zie je de resultaten van het experiment van Pasteur.
- a** Leg uit waardoor de uitkomsten aantonen dat organismen niet spontaan uit bouillon ontstaan.
 - b** Welk resultaat is belangrijk om de critici te overtuigen en leidde tot het verwerpen van de theorie van de *generatio spontanea*? Leg je antwoord uit.

WERKPLAN

In de biologie is het experiment een veelgebruikte onderzoeksmethode. Bij onderzoek maak je van tevoren een **werkplan**. In een werkplan beschrijf je welk experiment of welke experimenten je bij een onderzoek wilt uitvoeren, welke materialen je daarvoor nodig hebt en hoe je de resultaten wilt verwerken. Proefopstellingen bij experimenten moet je beschrijven of tekenen. Ook beschrijf je welke handelingen je op welke tijdstippen gaat verrichten en hoe je je resultaten gaat verzamelen en verwerken.

Hierna volgen enkele vragen, die je kunt stellen bij het maken van een werkplan.

Methode

- Welke factor onderzoek je?
- Met welk organisme voer je het experiment uit? Waarom met dit organisme? Hoeveel organismen neem je om betrouwbare gegevens te verkrijgen?
- Onder welke omstandigheden voer je het experiment (en de blancoproef) uit?
- Hoe zorg je ervoor dat andere factoren niet van invloed zijn?

Materialen

- Wat heb je nodig om het onderzoek te kunnen uitvoeren?

Resultaten

- Op welke manier ga je de resultaten van het onderzoek meten?
- Op welke manier ga je de resultaten weergeven?

MAKEN VAN EEN VERSLAG

Elk onderzoek wordt afgesloten met een **verslag**. Hierin beschrijf je nauwkeurig de verschillende fasen van het onderzoek. Een verslag bestaat uit de volgende onderdelen.

1 Titel

2 Inleiding

In de inleiding geef je achtergrondinformatie over je onderwerp. Je geeft een beschrijving van het natuurwetenschappelijke probleem dat je wilt onderzoeken. Je formuleert een onderzoeksvraag en stelt eventueel een hypothese op. Op grond van je hypothese spreek je een verwachting uit over de uitkomst van je onderzoek.

3 Werkplan: materiaal en methode

Hierin beschrijf je welke onderzoeksmethode je toepast. In dit deel van het verslag maak je ook een lijst van de benodigde materialen. De beschrijvingen van de onderzoeksmethode en de materialen moeten zo nauwkeurig zijn, dat iemand anders in staat is het onderzoek te herhalen.

4 Resultaten

Hierin beschrijf je het verloop van het onderzoek, bijvoorbeeld het verloop van het experiment. Noteer je observaties in woorden en vat je meetresultaten samen in tabellen, grafieken en/of diagrammen.

5 Conclusie

Hierin beschrijf je de interpretatie van je resultaten. Je geeft ook aan of je de resultaten van je hypothese kunt bevestigen of verwerpen.

6 Discussie

In een **discussie** kijk je kritisch naar de proefopstelling en de uitvoering van het onderzoek. Alles draait om de vraag ‘Hoe zeker ben ik van het gevonden antwoord op de onderzoeksvraag?’ Is alles volgens plan verlopen? Probeer zo mogelijk redenen te geven als de resultaten de hypothese niet bevestigen. Stel eventueel een nieuwe hypothese op en geef aan hoe deze hypothese kan worden onderzocht.

7 Literatuur

Hierin vermeld je de bronnen die je bij dit onderzoek hebt geraadpleegd.

opdracht

- 68** Je gaat met een experiment onderzoeken wat de invloed van de temperatuur is op de groeisnelheid van de wortels van ontkiemende bonen. Je krijgt de beschikking over tien broedstoven waarvan de temperatuur te regelen is, een zak met tweehonderd bonen, een meetlat en voldoende jampotjes, filtreerpapier en water om de bonen te laten ontkiemen. In de broedstoven is voldoende zuurstof. Water, zuurstof en temperatuur zijn de factoren die van belang zijn voor de ontkieming van een zaad. In de broedstoven kun je de verlichting in- of uitschakelen.
- a** Hoeveel bonen leg je te ontkiemen? Leg je antwoord uit
 - b** Op welke temperatuur stel je de broedstoven in? Leg je antwoord uit.
 - c** Wat doe je met de verlichting in de broedstoven?
 - d** Welke metingen moet je verrichten om de groeisnelheid van de wortels te kunnen bepalen?
 - e** Welke bewerking moeten je meetresultaten ondergaan, voordat je een conclusie kunt trekken?

CONTEXT

Leefwereld

Van varkensdarm tot kunstnier

▼ **Afb. 65** Het eerste dialyseapparaat.



In 2015 zijn er 6500 mensen in Nederland waarvan de nieren zo slecht functioneren, dat ze thuis of in een centrum dialyseren. Desiree vertelt: ‘Mijn nieren werken onvoldoende. Een dialyseapparaat haalt de meeste afvalstoffen uit mijn bloed, maar niet alles. Door je stofwisseling maak je afvalstoffen en water aan die de nieren bij een gezond persoon uit het bloed filteren. Het gaat maar om twee theelepeltjes afvalstoffen per dag! Maar ik zou al binnen een paar dagen doodgaan als de afvalstoffen zich ophopen.’

Professor Kolff bedacht tijdens de Tweede Wereldoorlog een manier om de afvalstoffen uit het bloed van patiënten te filteren. Hij maakte een dialyseapparaat en gebruikte daarvoor overblijfselen van een Duitse bommenwerper, een waterpomp uit een oude auto en een varkensdarm van de slager. Een varkensdarm is in staat om te filteren. Het laat afvalstoffen en water wel door, maar bloedcellen niet. Een spoelvroestof buiten de varkensdarm neemt de afvalstoffen en een deel van het water uit het bloed van de patiënt op, door middel van diffusie en osmose. De dialyseapparaten die tegenwoordig worden gebruikt, zijn nog steeds gebaseerd op het eerste ontwerp van professor Kolff. De varkensdarm is inmiddels vervangen door een kunststof membraan.

opdracht

- 69** De Nederlander Willem Kolff (1911–2009) bedacht een manier om de afvalstoffen uit het bloed van patiënten te filteren. Hij maakte een dialyseapparaat.
- Door welk type onderzoek is het dialyseapparaat tot stand gekomen?
 - Dialyseren is niet ideaal.
Welk nadeel is in de tekst genoemd?
 - Patiënten die dialyseren doen dat drie keer per week. Dat duurt zo’n drie tot vier uur.
Wat is een groot verschil als je de werking van de nieren vergelijkt met de werking van een dialyseapparaat?
 - Wat is de osmotische waarde van de spoelvroestof ten opzichte van de osmotische waarde van het bloed in een dialyseapparaat? Leg je antwoord uit.

►► PRACTICUMOPDRACHT 8

►►  OLYMPIADE OPDRACHT 2

Je hebt nu de basisstof van dit thema doorgewerkt.

- Doe online de verrijksstoffen, de flitskaarten en de oefentoets.
- Ga in het boek verder met de Samenhang en de Examentrainer.

Leerdoelen

- Je kunt verschillende typen van natuurwetenschappelijk onderzoek toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.
- Je kunt de biologische vakvaardigheden ecologisch, evolutionair en vorm-functie-denken toepassen op planten en dieren.

Expeditie Spitsbergen

In augustus 2015 vertrekt een bonte verzameling van wetenschappers en BN’ers richting Spitsbergen om onderzoek te doen naar de gevolgen van klimaatverandering.

Op de zolder van Rijksuniversiteit Groningen ontstond het idee voor de grootste Nederlandse poolexpeditie ooit, toen bioloog Maarten Loonen een kist met rendierschedels vond. De rendierschedels waren afkomstig van een onderzoeksproject op het eiland Edgeøya. Van 1968 tot en met 1988 hebben Nederlandse wetenschappers veel data verzameld over planten en dieren op dit eiland. Een gevaarlijke klus! Zo moest een groep wetenschappers drie dagen lang vluchten voor een ijsbeer. Bij bioloog Piet Oosterveld (1939–2016) beet een ijsbeer een stuk van oor, wang en hoofd huid af. Hij had vanaf toen twee deuken in zijn achterhoofd. Gelukkig overleefden de wetenschappers hun ontmoetingen met de levensgevaarlijke ijsberen, maar daarna werd op Edgeøya nauwelijks nog onderzoek gedaan.

Maarten Loonen vindt het geweldig om juist nu terug te gaan naar het eiland. Het klimaat is de afgelopen decennia milder geworden en het zee-ijs is twee maanden eerder weg dan vroeger. Door nieuwe waarnemingen te vergelijken met oude waarnemingen is het mogelijk de gevolgen van klimaatverandering op planten en dieren te bestuderen.

Ecoloog Sip van Wieren van Wageningen University bracht al eens vier maanden door op Edgeøya en verzamelde 350 rendierkaken. De tanden en kiezen gebruikte hij om de leeftijdsopbouw van de populatie te bepalen. Door de korte duur van deze expeditie kan hij nu niet zoveel kaken verzamelen. Daarom zal Van Wieren het DNA van de oude kaken vergelijken met kaken die hij nu vindt. Zo kan hij meer te weten te komen over veranderingen van de rendierpopulatie op het eiland.

opdrachten

- 1 Neem het schema over en vul de woorden in bij het juiste organisatieniveau. Kies uit: *DNA – eiland Edgeøya – ijsbeer – klimaatverandering – rendieren – rendierschedel.*

Organisatieniveau	Begrip
Biosfeer	
Ecosysteem	
Populatie	
Organisme	
Orgaan	
Cel	
Molecuul	

▼ **Afb. 1** Levensgevaarlijke ijsberen.



▼ **Afb. 2** Welke invloed heeft klimaatverandering op rendieren?



- 2 De onderzoekers moeten goed oppassen voor rondzwervende ijsberen (zie afbeelding 1). De ijsbeer (*Ursus maritimus*) is het grootste landroofdier ter wereld. Hij zwerft op jacht naar zijn voedsel, de kleine zeehond, langs de rand van het pakij over het hele Noordpoolgebied. De ijsbeer heeft allerlei aanpassingen om in dit klimaat te kunnen functioneren. Welke functies hebben de volgende vier aanpassingen: stukjes huid tussen de tenen, grote en brede voetzolen, behaarde voetzolen en kleine kussentjes onder de voetzolen?
- 3 Welk type onderzoek gebruikten de wetenschappers die in de beginjaren onderzoek deden op Edgeøya, vooral? Leg uit waarom dat zo is.
- 4 Het voedsel van de rendieren op Edgeøya is een groot deel van het jaar onbereikbaar, omdat het zich onder sneeuw bevindt. In 1977 moesten de rendieren (zie afbeelding 2) zich in de drie zomermaanden volvreten met onder andere grassen en korstmossen om een grote vetreserve op te bouwen. Zo konden ze de volgende maanden doorkomen.
 - a Beschrijf hoe de voedselvoorziening van rendieren tussen 1977 en 2015 is veranderd en welk gevolgen dit heeft voor rendieren.
 - b Stel een hypothese op over de overlevingskansen van rendieren op Edgeøya door de klimaatveranderingen.
 - c Door klimaatverandering op Edgeøya treedt in het voor- en najaar soms icing op: er valt regen op de koude bodem die vervolgens bevriest. Daardoor komen rendieren niet bij hun voedsel en raken de vetreserves in hun lichaam op. Zo kan massale sterfte optreden. Welke conclusie zou je met deze informatie kunnen trekken over de overlevingskansen van de rendieren op Edgeøya?
- 5 Tanden en kiezen in de schedels van rendieren geven informatie over de leeftijd waarop het dier is doodgegaan. Tijdens het leven van een rendier zetten cellen (cementoblasten) continu een beetje tandcement af aan de buitenkant van de wortels. Door verschillend zomer- en wintervoedsel verschillen tandcementlaagjes die in de zomer en winter ontstaan. In een dwarsdoorsnede van een tandwortel kun je dit zichtbaar maken en met de 'jaarringen' de leeftijd bepalen. Het tandcement bestaat uit een eiwit en wordt gemaakt door speciale cellen, cementoblasten genaamd.
 - a Welke celorganellen in cementoblasten zijn betrokken bij de productie van het tandcement bij rendieren?
 - b Welk van deze organellen is verantwoordelijk voor het afzetten van cement door de cementoblasten? Leg je antwoord uit.
- 6 Planten langs de kust van Edgeøya groeien in een bodem met een hoog zoutgehalte. Ook het zoutgehalte van het bodemwater is hoger. NaCl is in hoge concentraties giftig voor planten. Planten hebben aanpassingen om via de wortels opgenomen zoutionen uit te scheiden of op te slaan in de vacuolen.
 - a Cellen van planten die in een zoute omgeving groeien hebben een hogere osmotische waarde dan de osmotische waarde van het bodemwater, zodat de planten kunnen overleven. Waarvoor dient deze bescherming?
 - b Onder welke omstandigheden kan een plant (zout) water opnemen uit de omgeving?

Practica

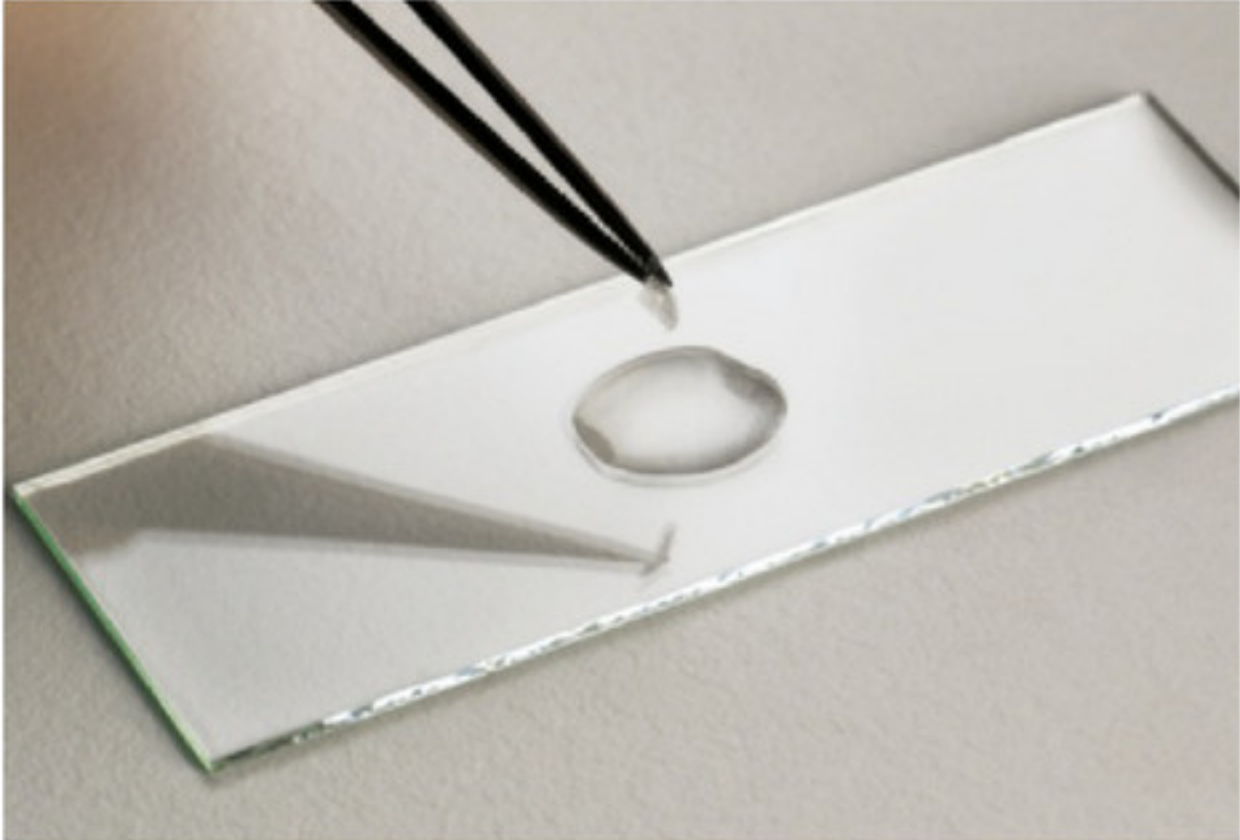
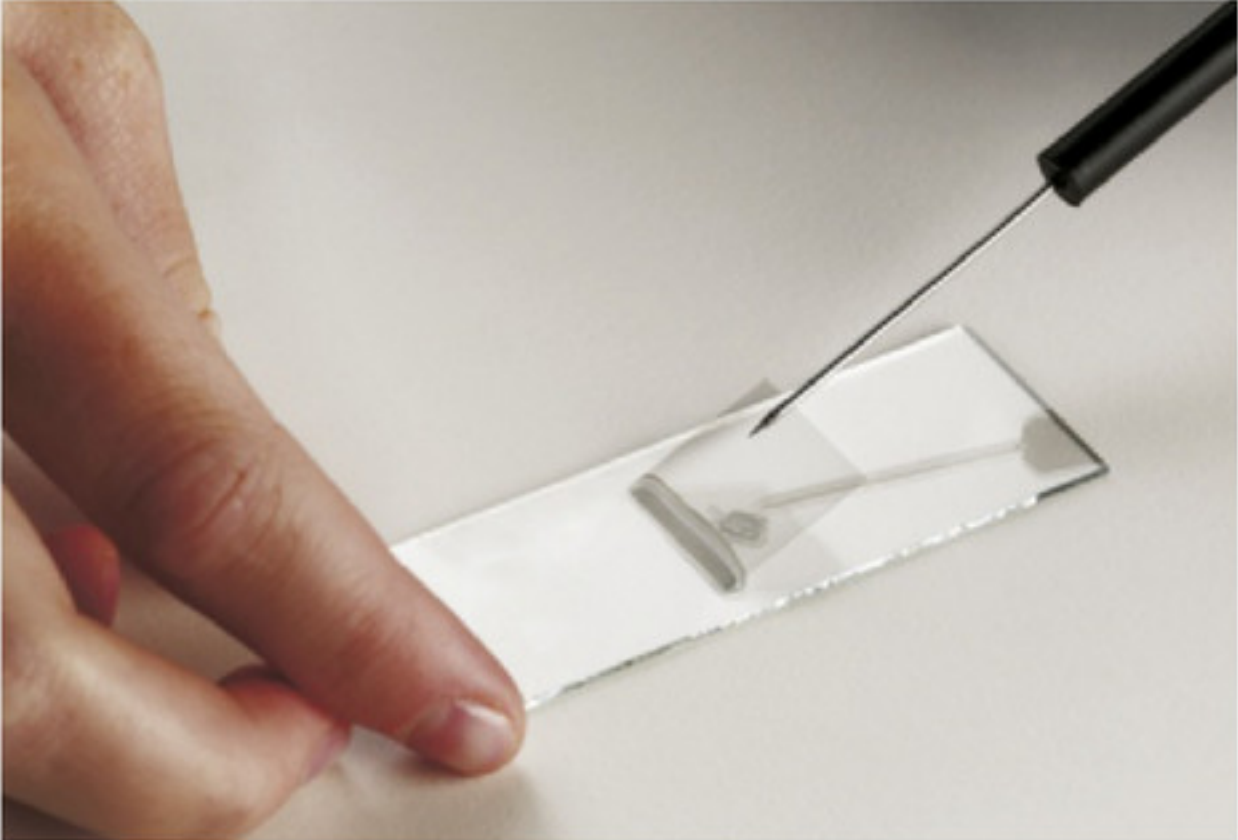
▼ Afb. 1

BIOLOGISCHE TECHNIEK		WERKEN MET EEN LICHTMICROSCOOP	
Doel	Cellen zijn met het blote oog niet te zien. Je kunt cellen wel bekijken met een lichtmicroscop doordat lenzen in de microscoop het beeld vergroten.		
Werkwijze	<i>Stel eerst in op de kleinste vergroting.</i> – Draai de tubus helemaal omhoog (of de tafel helemaal omlaag). – Draai het objectief 4× voor. – Leg het preparaat onder de klemmen, midden boven de opening in de tafel. – Kijk van opzij en draai de tubus helemaal omlaag (of de tafel helemaal omhoog). – Doe de lamp aan. – Kijk door het oculair en draai met de grote schroef langzaam de tubus omhoog (of de tafel omlaag), tot het beeld scherp wordt. <i>Stel met de kleine schroef nauwkeurig scherp.</i> – Verander het diafragma en kijk welke grootte van het diafragma het beste beeld geeft. <i>Instellen op een grotere vergroting.</i> – Je hebt al scherpgesteld bij een kleinere vergroting. – Schuif het gedeelte van het preparaat dat je sterker wilt vergroten in het midden van het beeld. – Draai het objectief dat één maat groter is voor (draai niet aan de grote schroef). – Stel met de kleine schroef nauwkeurig scherp.		

▼ Afb. 2

BIOLOGISCHE TECHNIEK		TEKENINGEN MAKEN	
Doel	Door een (deel van een) organisme te tekenen, bekijk je het heel nauwkeurig. In je tekening teken je alleen de belangrijkste kenmerken.		
Werkwijze	– Verdeel een bladzijde in tweeën. – Teken groot. – Gebruik een potlood. – Teken eerst de omtrek. – Teken wat je ziet. – Maak niet te ingewikkelde tekeningen. – Noteer boven in het tekenvak: – de naam van het (deel van) het organisme; – de vergroting; – het type doorsnede; – eventueel de kleurstof die is gebruikt. – Zet de namen bij de delen die je kent (met horizontale verbindingsstreepjes).		

▼ Afb. 3

BIOLOGISCHE TECHNIEK		EEN PREPARAAT MAKEN
Doel	Met een microscoop kun je alleen (delen van) een organisme bekijken die heel erg dun zijn en licht doorlaten. Je maakt hiervan een preparaat.	
Werkwijze	– Breng een druppel water op een schoon voorwerpglas. Pak de glaasjes daarna alleen nog vast bij de randen. – Leg het (deel van het) organisme voorzichtig in de druppel water. Let erop dat het niet oprolt of dubbel komt te liggen. – Doe er voorzichtig een dekglasje op. Voorkom dat er luchtbelllen ontstaan. Haal overtollig water met een filtreerpapier weg.  1  2  3	

▼ Afb. 4

BIOLOGISCHE TECHNIEK		EEN VERDUNNINGSREEKS MAKEN
Doel	Om de invloed van de concentratie tijdens een onderzoek te bepalen, maak je een verdunningsreeks. De kans op meetfouten is dan klein, omdat je maar één keer een oplossing maakt en je met grotere hoeveelheden werkt.	
Werkwijze	– Maak een dubbele hoeveelheid van de oplossing met de hoogste concentratie. – Doe precies de helft van de oplossing in een schone reageerbuis. – Vul de overgebleven helft aan met een precies even grote hoeveelheid water. – Herhaal de 2e en 3e stap tot de laagste concentratie is bereikt. Maak het materiaal tussentijds steeds goed schoon.	

practicumopdracht 1

MATERIAAL

- een klaargemaakt preparaat
- een microscoop

practicumopdracht 2

MATERIAAL

- een rode ui
- een microscoop
- prepareermateriaal

Een preparaat bekijken

►► BASISSTOF 3

In dit practicum bekijk je met een microscoop een klaargemaakt preparaat en maak je een schematische tekening.

METHODE

- Bekijk het preparaat bij de kleinste, middelste en grootste vergroting.

RESULTATEN

- Teken enkele cellen uit de verschillende preparaten.

Een plantaardige cel

►► BASISSTOF 3

Een ui bestaat uit rokken. Cellen met rode kleurstof zitten in de cellen aan de buitenkant van de buitenste rokken van de rode ui (zie afbeelding 5). In dit practicum bekijk je enkele organellen in een plantaardige cel van een rode ui en maak je een schematische tekening.

METHODE

- Maak een sneetje in het vliesje en trek een stukje van het buitenste vliesje los. Als het vliesje te groot is, snijd dan een stukje van ongeveer 1 cm² uit.
- Maak een preparaat van het vliesje.
- Bekijk het preparaat bij een vergroting van 40×, daarna bij een vergroting van 100×.

▼ **Afb. 5** Vliesje van de buitenkant van de rok van een ui.



Misschien zie je in het preparaat grote zwarte cirkels. Dat zijn luchtbelllen. Zoek voor het bekijken van de cellen een stukje zonder luchtbelllen op. Het kan ook zijn dat het vliesje dubbelgeklapt is. Je ziet dan twee cellagen op elkaar. Zoek een deel op waar de cellen niet over elkaar liggen.

RESULTATEN

- Teken één plantaardige cel van een rode ui helemaal en geef het begin van de omliggende cellen aan.
- Benoem de delen van de cel die je ziet: celwand, cytoplasma, vacuole en celkern.

practicumopdracht 3

MATERIAAL

- een wattenstaafje of een plastic roerstaafje
- een microscoop
- prepareermateriaal
- eosine of jodiumoplossing
- een druppelpipet

Een dierlijke cel

►► BASISSTOF 3

Cellen van je wangslimvlies zijn dierlijke cellen. Omdat een cel van het wangslimvlies kleurloos is, kleur je de cel met eosine. In dit practicum oefen je met het maken en kleuren van een preparaat en bekijk je enkele organellen in een dierlijke cel.

METHODE

- Doe een druppel eosine op een voorwerpglas.
- Schraap met het wattenstaafje langs de binnenkant van je wang (zie afbeelding 6).
- Doe het schraapsel in de druppel eosine op het voorwerpglas en maak het preparaat verder af.
- Bekijk het preparaat. Begin bij een vergroting van 40×. Zoek met een sterkere vergroting losliggende cellen op. Soms liggen cellen over elkaar of zitten ze aan elkaar vast.

▼ **Afb. 6** Schraap met een wattenstaafje langs de binnenkant van je wang.



RESULTAAT

- Teken enkele wangslimvliescellen.
- Benoem de delen van de cel die je herkent.

practicumopdracht 4

MATERIAAL

- een stengeltje met bladeren van waterpest
- een microscoop
- prepareermateriaal

▼ **Afb. 7** Een preparaat van een blad van waterpest.



Chloroplasten

►► BASISSTOF 3

Waterpestplanten zijn te koop als ‘zuurstofplantjes’ voor aquaria. Het blad van waterpest is twee cellagen dik en daardoor kun je er gemakkelijk een preparaat van maken. In dit practicum bekijk je chloroplasten van waterpest.

METHODE

- Trek met het pincet een blaadje van waterpest af en maak daarvan een preparaat.
- Bekijk het preparaat bij een vergroting van 100×. Stel scherp in op één van beide cellagen.
- Zet het diafragma op de grootste opening. Bekijk het preparaat bij een vergroting van 400×. Stel zo scherp dat je bij één cel de chloroplasten in een laagje langs de celwand ziet liggen.

Als je de chloroplasten in het midden van een cel ziet liggen, heb je scherp-gesteld op de bovenkant of op de onderkant van de cel. Misschien zie je de chloroplasten met het cytoplasma rondstromen. De celkern is bij waterpest kleurloos, die kun je niet zien.

RESULTAAT

- Teken één cel met de celwand uit een blaadje van waterpest.
- Benoem de delen van de cel die je herkent.

practicumopdracht 5

MATERIAAL

- geconcentreerde soda-oplossing
- geconcentreerde calciumchloride-oplossing
- koud en warm water
- petrischaal
- twee (pasteur)pipetten
- een stopwatch of mobieltje
- een watervaste stift
- eventueel blauw papier

De diffusiesnelheid van opgeloste stoffen in water

► BASISSTOF 5

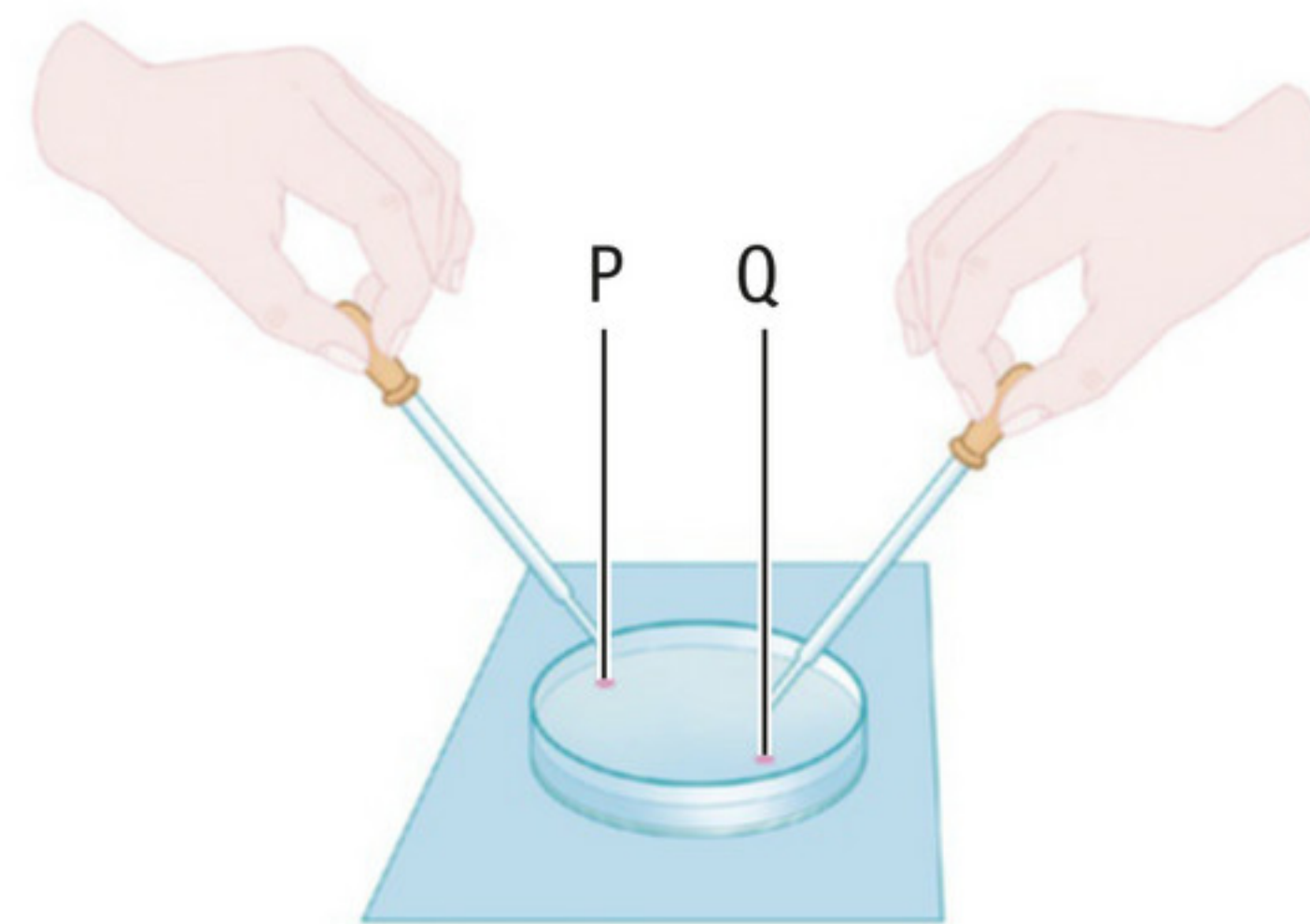
De bewegingssnelheid van moleculen is van invloed op de diffusiesnelheid. In dit practicum onderzoek je hoe snel de opgeloste stoffen diffunderen in een soda-oplossing en in een calciumchloride-oplossing.

METHODE

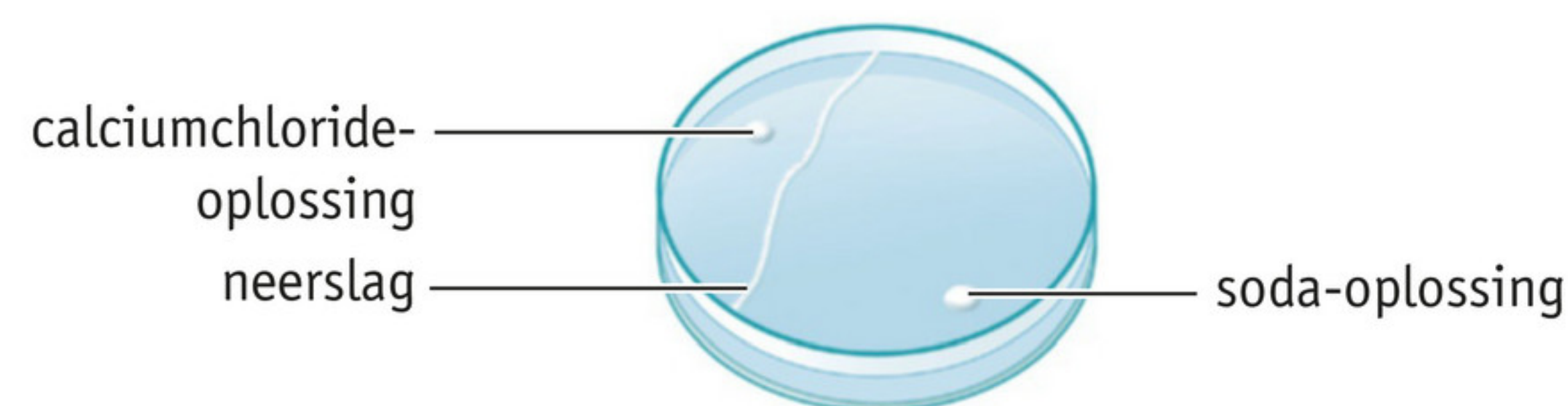
Sommige opgeloste stoffen reageren met elkaar waarbij een neerslag ontstaat. Dat gebeurt bij een soda-oplossing en een calciumchloride-oplossing. Op het moment dat de opgeloste stoffen bij elkaar komen, ontstaat een neerslag. Door de stoffen op een bepaalde afstand van elkaar in water te doen, kun je bepalen hoe snel de opgeloste stoffen door het water diffunderen.

- Zet op de buitenkant van de bodem van een petrischaal twee stippen met stift. Zet de stippen op ongeveer 1 cm van de rand recht tegenover elkaar.
- Vul de petrischaal met koud water en zet hem op een vaste ondergrond. De petrischaal mag tijdens het experiment niet bewegen. (Tip: door de petrischaal op een blauw papier te zetten zie je nog beter wat er gebeurt.)
- Laat met een (pasteur)pipet boven de ene stip een druppel soda-oplossing in het water vallen en tegelijk bij de andere stip een druppel calciumchloride-oplossing. Start op hetzelfde moment de tijdwaarneming.
- Zodra in de petrischaal een neerslag te zien is, stop je de tijdwaarneming.
- Herhaal het onderzoek met warm water.

▼ Afb. 8



▼ Afb. 9



RESULTAAT

- Noteer je tijdwaarneming in een tabel.
- Wat kun je zeggen over de diffusiesnelheid en de temperatuur van het water?

practicumopdracht 6

MATERIAAL

- een rode ui
- een microscoop
- prepareermateriaal
- kaliumnitraatoplossing (KNO_3) van 10% in een flesje
- een druppelpipet
- gedestilleerd water

Plasmolyse

» BASISSTOF 5

Bij plasmolyse wordt de inhoud van een plantaardige cel kleiner door waterverlies en laat het celmembraan los van de celwand. In dit practicum bekijk je plasmolyse bij cellen van een rode ui.

METHODE

- Maak een preparaat van het buitenste vliesje van een rode rok van de rode ui.
- Bekijk het preparaat bij een vergroting van 100×. Zoek cellen waarvan de vacuolen rood zijn gekleurd.
- Breng aan de rand van het dekglas een druppel KNO_3 -oplossing aan. Bekijk het preparaat bij een vergroting van 100×, terwijl je met filtreerpapier de KNO_3 -oplossing onder het dekglas door zuigt. Wacht tot de cellen plasmolyse vertonen. Zuig eventueel een tweede druppel KNO_3 -oplossing onder het dekglas door.
- Teken drie aan elkaar grenzende, in plasmolyse verkerende cellen met de celwanden.
- Zuig nu op dezelfde manier met filtreerpapier gedestilleerd water onder het dekglas door. Kijk wat er met de cellen gebeurt.
- Teken drie aan elkaar grenzende, in gedestilleerd water verkerende cellen met de celwanden.

RESULTAAT

- Drie aan elkaar grenzende, in plasmolyse verkerende cellen met de celwanden.
- Drie aan elkaar grenzende, in gedestilleerd water verkerende cellen met de celwanden.

practicumopdracht 7

MATERIAAL

- 6 reageerbuizen ($\varnothing$ 18 mm) en een reageerbuisrek
- etiketten of watervaste stift
- een bekersglasje met gedestilleerd water
- een bekersglasje van 50 mL met precies 20 mL keukenzoutoplossing (NaCl -oplossing) van 8%
- een spuitje, maatcilinder of pipet van 10 mL
- een grote aardappel
- een scheermesje of een aardappelschilmesje
- een liniaal

Osmose bij verschillende concentraties

» BASISSTOF 6

De schil van aardappels gaat verdamping tegen. Toch drogen aardappels na een tijdje uit en worden ze slapper en kleiner. Wanneer de cel zoveel water verliest dat er plasmolyse optreedt, verandert de grootte niet meer. In dit practicum onderzoek je of je de osmotische waarde van aardappelstaafjes kunt bepalen door ze in verschillende oplossingen te leggen.

ONDERZOEKSVRAAG

Kan de osmotische waarde van aardappelcellen worden bepaald aan de hand van de lengte en stevigheid van aardappelstaafjes die in oplossingen met oplopende osmotische waarde hebben gelegen?

HYPOTHESE

De osmotische waarde van aardappelcellen kun je op deze manier bepalen. Wanneer de lengte en stevigheid van de aardappelstaafjes bij een bepaalde concentratie niet meer verandert, komt de osmotische waarde van de oplossing overeen met de osmotische waarde van de aardappelcellen.

METHODE

- Nummer de reageerbuizen van 1 tot en met 6.
- Doe 10 mL gedestilleerd water in reageerbuis 1. De concentratie keukenzout in buis 1 is dan 0%.

- De verschillende concentraties in buis 2 tot en met 6 krijg je door een verdunningsreeks te maken van 8% tot 0,5% keukenzoutoplossing. Begin met 20 mL van een keukenzoutoplossing van 8%. Gebruik voor het afmeten van de hoeveelheden het spuitje, maatcilinder of pipet van 10 mL en maak dat na ieder gebruik goed schoon met gedestilleerd water.
- Snijd uit de aardappel staafjes van precies 50 mm lang en ongeveer 7 mm breed en dik.
- Stop in iedere reageerbuis een staafje. Zorg ervoor dat in alle buizen het staafje aardappel helemaal in de vloeistof zit.
- Laat de buizen een dag staan en haal dan de staafjes uit de buizen.
- Meet de lengte van elk staafje in millimeter nauwkeurig.

RESULTAAT

- Geef de resultaten weer in een tabel. Noteer de lengte aan het begin, de lengte aan het einde en de lengteverandering. Noteer ook bij ieder staafje of het stevig aanvoelt of niet, ten opzichte van een vers staafje aardappel.
- Maak van de gegevens over de lengteverandering een grafiek.

CONCLUSIE

Beantwoord de volgende vragen.

- 1 In welk traject van de grafiek bezitten de aardappelcellen turgor?
- 2 In welk traject van de grafiek is er sprake van plasmolyse?
- 3 Met welke NaCl-concentratie komt de osmotische waarde van een aardappelcel overeen? Leid je antwoord af uit de grafiek.
- 4 Welke conclusie kun je trekken?

DISCUSSIE

Beantwoord de volgende vraag.

- 5 Zijn er veranderingen in lengte of stevigheid van de staafjes opgetreden die je niet had verwacht? Welke verklaring heb je hiervoor?
- Maak een verslag waarin je de antwoorden op de vragen verwerkt.

practicumopdracht 8

MATERIAAL

- dialyseslang ± 15 cm
- elastiekjes
- 10 mL-pipet
- suikeroplossing van 10% met (blauwe) kleurstof
- leidingwater
- bekerglas 1000 mL
- bekerglas 100 mL
- touwtje
- standaard voor pipet

Osmose zichtbaar maken

►► BASISSTOF 6

Een dialysemembraan is een semipermeabel membraan dat wordt gebruikt in kunstnieren. In dit ontwerpend onderzoek toon je osmose aan met behulp van een dialysemembraan, een pipet, suikeroplossing van 10% en water. Je ontwerpt met deze materialen zelf een proefopstelling.

ONDERZOEKSVRAAG

Hoe kun je osmose aantonen met een proefopstelling waarbij je een dialysemembraan, een pipet, suikeroplossing van 10% en water gebruikt?

METHODE

- Bedenk wat er gebeurt als je water en een suikeroplossing van 10% scheidt door een semipermeabel membraan.
- Bekijk de materialen. Ontwerp hiermee een proefopstelling om osmose aan te tonen. Gebruik hierbij afbeelding 10. Maak een tekening van je proefopstelling waarin je met een pijl aangeeft in welke richting water zich gaat verplaatsen door osmose.

▼ **Afb. 10** Dialysemembraan met pipet.



- Als je je ontwerp klaar hebt, controleer je of het overeenkomt met het voorbeeld in het uitwerkingenboek.
- Wanneer je ontwerp in orde is, kun je het gaan uitvoeren. Zorg ervoor dat je het vloeistofniveau in de pipet goed kunt aflezen.

Tip: Maak het stukje dialyseslang flink nat en wrijf het zo tussen duim en wijsvinger dat de tegen elkaar geplakte kanten losraken. Zorg ervoor dat je het dialysemembraan onder en boven goed dichtbindt zodat het niet kan lekken.

RESULTAAT

- Noteer het vloeistofniveau (in mL) in je pipet aan het begin.
- Noteer het vloeistofniveau (in mL) in je pipet na een half uur.
- Bepaal het volume (in mL) waarmee het vloeistofniveau is gestegen of gedaald.

CONCLUSIE

- 1 Welke conclusie kun je trekken?

DISCUSSIE

Beantwoord de volgende vragen.

- 2 Wat ging er goed? Wat kon beter?
 - 3 Als de resultaten niet overeenkomen met je verwachting, wat zijn dan mogelijke redenen?
- Maak een verslag waarin je de antwoorden op de vragen verwerkt.

Samenvatting

LEERDOEL 1 ►► BASISSTOF 1

Je kunt beschrijven wat biologie is en uitleggen op welke gebieden biologie een rol speelt.

- Biologie is een natuurwetenschap en bestudeert organismen (levende wezens).
 - Alle organismen vertonen levensverschijnselen zoals voortplanting, groeien, ontwikkelen en stofwisseling.
 - Stofwisseling: alle chemische reacties in een organisme.
 - Enzymen versnellen (katalyseren) de chemische reacties van stofwisselingsprocessen.
 - Een organisme dat geen levensverschijnselen meer vertoont, is dood. Dingen in de natuur die nooit hebben geleefd zijn levenloos.
- Bij belangrijke vraagstukken over de toekomst van voeding en voedselzekerheid, gezondheid, duurzame ontwikkeling, energie en veiligheid, is kennis over en inzicht in biologische processen en systemen steeds relevanter.
- Een context voor het vak biologie is een situatie waarin biologie een rol speelt.

LEERDOEL 2 ►► BASISSTOF 1

Je kunt de levenscyclus van dieren beschrijven.

- Elk organisme (individu) heeft een levensloop. De levensloop begint direct na het ontstaan van het organisme en eindigt met de dood van het organisme.
- Elke soort heeft een levenscyclus omdat alle individuen van een soort tijdens hun levensloop dezelfde fasen of stadia van ontwikkeling doorlopen. Hoewel individuen van een soort sterven, blijft de soort voortbestaan.
 - Ontwikkelen: optreden van veranderingen in de bouw en het functioneren van het organisme of van bepaalde delen ervan.
- Soort: organismen die zich onderling kunnen voortplanten en daarbij vruchtbare nakomelingen voortbrengen.

LEERDOEL 3 ►► BASISSTOF 1

Je kunt de organisatieniveaus van de biologie benoemen en uitleggen dat op elk hoger organisatieniveau emergente eigenschappen ontstaan.

- Organismen zijn georganiseerd in biologische eenheden (van klein naar groot en van eenvoudig naar complex).
- Molecuul: bouwstenen van stoffen bijv. DNA.
 - DNA bevat de erfelijke informatie voor een organisme.
- Cel: organismen bestaan uit een of meer cellen.
- Orgaan: deel van een organisme met een specifieke bouw en functie.

- Organisme: eencellig of meercellig levend wezen (individu).
- Populatie: groep individuen van dezelfde soort die in een bepaald gebied leven en die zich onderling voortplanten.
- Ecosysteem: een min of meer begreemd gebied bestaande uit levende en niet-levende natuur.
- Biosfeer (systeem aarde): het geheel aan ecosystemen op aarde.
- Emergente eigenschap: als er op een hoger organisatie-niveau een nieuwe eigenschap ontstaat die er op het lagere organisatieniveau niet is.
- Interactie: biologische eenheden reageren op elkaar en op de invloeden uit hun omgeving.

LEERDOEL 4 ►► BASISSTOF 2

Je kunt orgaanstelsels, organen, weefsels en cellen bij een mens herkennen en de kenmerken en functies beschrijven.

- Orgaanstelsel: een aantal organen dat samen een bepaalde functie uitoefent.
 - Bijv. verteringsstelsel en beenderstelsel.
- Organen in de romp van een mens zijn: lever, maag, strottenhoofd, long, hart, middenrif, dikke darm, dunne darm, wervel, rib, borstbeen, galblaas, lever, nier, aorta.
- Weefsel: een groep cellen met dezelfde vorm en functie.

LEERDOEL 5 ►► BASISSTOF 2

Je kunt beschrijven dat groepen cellen in een weefsel, orgaan of orgaanstelsel een gezamenlijke functie uitoefenen.

- De vorm van cellen hangt samen met de functie.
- Organen zijn opgebouwd uit weefsels.
- Vier soorten weefsels: dekweefsel (epitheel), zenuwweefsel, spierweefsel, bindweefsel.
- Bij veel weefsels liggen de cellen niet direct tegen elkaar aan, maar komt tussencelstof voor. Het soort tussencelstof hangt samen met de functie van het weefsel.

LEERDOEL 6 ►► BASISSTOF 2

Je kunt bij (delen van) organismen het verband aangeven tussen vorm en functie.

- Bij organismen is er een verband tussen de vorm en de functie van de biologische eenheden waaruit ze zijn opgebouwd.
 - Langwerpige, holle botten bij de mens: zijn licht en stevig.
 - Beenbalkjes in de kop van een dijbeen: maken het been licht en geven stevigheid.
 - Gewelfde vorm van de botten in de voeten: dragen het gewicht en vangen schokken op.
 - Gestroomlijnde lichaamsvorm bij diersoorten die in het water leven: weinig weerstand.

LEERDOEL 7 ►► BASISSTOF 3**Je kunt delen van dierlijke cellen en van plantaardige cellen herkennen en de functies ervan benoemen.**

- Organel: elk deel van een cel met een eigen functie.
- Celmembraan: scheidt het inwendige van de cel, het cytoplasma (celplasma), van het milieu buiten de cel.
- Cytoplasma bestaat uit grondplasma (water en opgeloste stoffen) met daarin allerlei organellen.
- De kern is omgeven met het kernmembraan en bevat kernplasma.
- Vacuole: blaasje in het cytoplasma omgeven door een vacuolemembraan en gevuld met vacuolevocht.
 - Speelt een belangrijke rol bij de stevigheid van de cel en kan kleurstoffen bevatten.
- Plastiden:
 - Chloroplasten (bevatten chlorofyl).
 - Chromoplasten (bevatten kleurstoffen).
 - Leukoplasten dienen om stoffen zoals vet, zetmeel en eiwit op te slaan.
 - Sommige plastiden kunnen overgaan in andere plastiden.
- Celwand: een stevig laagje om de cel heen.
 - Een celwand behoort niet tot de cel, maar is tussen-celstof.
 - Intercellulaire ruimten: holten tussen celwanden, gevuld met lucht of vocht.
- Dierlijke cellen bevatten geen grote centrale vacuole en geen plastiden en om dierlijke cellen ligt geen celwand.

LEERDOEL 8 ►► BASISSTOF 3**Je kunt een microscoop gebruiken en daarmee (de delen van) organismen bestuderen.**

- Bij een lichtmicroscoop valt licht van onder door een preparaat.
 - Een preparaat bestaat uit een objectglas en een dekglas met daartussen het object.
 - Het object is dun om licht door te laten.
 - De vergroting van een lichtmicroscoop = de vergroting van het oculair × de vergroting van het objectief.
- Bij een elektronenmicroscoop wordt gebruikgemaakt van een elektronenbundel en het beeld verschijnt (ingekleurd) op een computerscherm.
 - Bij een TEM (transmissie-elektronenmicroscoop) is geen diepte te zien.
 - Bij een SEM (scanning elektronenmicroscoop) is wel diepte te zien.

LEERDOEL 9 ►► BASISSTOF 4**Je kunt een cel beschrijven als een zelfstandig functionerende biologische eenheid.**

- In het kernplasma liggen chromosomen.
 - Chromosomen bestaan uit moleculen DNA die rondom eiwitten zijn gewikkeld.

- DNA bevat de informatie voor de erfelijke eigenschappen van een organisme.
- Kernporiën: openingen met eiwitten die het transport van stoffen in en uit het kernplasma regelen.
- Nucleolus: plaats in het kernplasma waar delen van ribosomen worden gemaakt.
- Endoplasmatisch reticulum (ER): netwerk van dubbele membranen dat is aangesloten op het kernmembraan.
 - Ruw endoplasmatisch reticulum (RER) heeft ribosomen. Functie: transport van eiwitten en het afsnoeren van blaasjes mogelijk maken.
 - Glad endoplasmatisch reticulum (GER) heeft geen ribosomen. Functie: verschilt per celtype, bijv. vetten of hormonen maken.
- Ribosomen: bolvormige organellen, op het endoplasmatisch reticulum of vrij in het cytoplasma.
 - Functie: eiwitsynthese.
- Golgisysteem: opgestapelde platte membranen in het cytoplasma.
 - Functie: eiwitten bewerken tot de uiteindelijke vorm en secretie van eiwitten buiten de cel (door exocytose) en productie van lysosomen.
- Lysosomen: blaasjes die enzymen bevatten.
 - Functie: verteren van voedingsstoffen of afvalstoffen.
- Mitochondriën: bolvormige organellen met dubbele membranen, waarvan het binnenmembraan sterk is geplooid (oppervlaktevergroting).
 - Functie: energie vrijmaken met behulp van zuurstof (verbranding).
 - De vrijgemaakte energie wordt tijdelijk opgeslagen in ATP-moleculen.
- Chloroplasten (bladgroenkorrels): organellen met dubbel membraan.
 - In chloroplasten komen veel gestapelde platte blaasjes voor met daartussen verbindingen.
 - In deze membranen liggen de enzymen voor fotosynthese.
 - Functie: fotosynthese.
- Celmembraan: een dubbele laag fosfolipiden, met daarin eiwitmoleculen en cholesterol (voor stevigheid).
 - Een fosfolipidemolecuul bestaat uit een hydrofiele kop (fosfaatgroep) en een hydrofobe staart (vetzuurmoleculen).
 - Sommige fosfolipiden en eiwitten (receptoreiwitten) bezitten koolhydraatketens voor herkenning.

LEERDOEL 10 ►► BASISSTOF 4

Je kunt de bouw en functie van het cytoskelet van cellen beschrijven.

- Cytoskelet: een netwerk van eiwitvezels (microtubuli en microfilamenten) in cellen zorgt ervoor dat:
 - de cel zijn vorm behoudt;
 - de organellen op hun plaats blijven;
 - de vorm van een cel kan veranderen;
 - een cel zich kan verplaatsen (schijnvoetjes).
- Motoreiwitten: verplaatsen zich langs het cytoskelet en transporteren blaasjes en eiwitten.

LEERDOEL 11 ►► BASISSTOF 5

Je kunt de concentratie van een oplossing berekenen.

- Concentratie geeft de hoeveelheid opgeloste stof in een bepaalde hoeveelheid oplosmiddel aan.
 - De hoeveelheid opgeloste stof kan worden aangegeven in gram per volume ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), in massaprocenten (%) of bij lage concentraties in ppm.

LEERDOEL 12 ►► BASISSTOF 5

Je kunt uitleggen wat diffusie en osmose is en toelichten welke rol osmose speelt bij de stevigheid van planten.

- Diffusie: verplaatsing van een stof van een plaats met een hoge concentratie naar een plaats met een lage concentratie van die stof.
 - Diffusie wordt veroorzaakt door (ongerichte) beweging van moleculen.
 - De diffusiesnelheid is o.a. afhankelijk van het medium waarin het plaatsvindt en de temperatuur.
- Osmose: diffusie van water door een semipermeabel membraan.
 - Een semipermeabel membraan laat wel water door, maar niet de opgeloste stof.
 - Bij osmose treedt waterverplaatsing op van een plaats met een lage osmotische waarde naar een plaats met een hoge osmotische waarde.
 - De osmotische waarde van een oplossing wordt bepaald door het aantal opgeloste deeltjes per volume-eenheid.
 - De grootte van de osmotische druk (aanzuigkracht van de oplossing met de hoogste osmotische waarde) wordt bepaald door de concentratie van deeltjes die niet door een semipermeabel membraan heen kunnen.
- Een dierlijke cel in een oplossing:
 - met een gelijke osmotische waarde als die van het cytoplasma (isotoon) behoudt zijn vorm;
 - met een lagere osmotische waarde dan die van het cytoplasma (hypotoon), neemt water op en kan barsten;
 - met een hogere osmotische waarde dan die van het cytoplasma (hypertoon) geeft water af en krimpt.

- Celwanden van plantaardige cellen zijn permeabel.
 - De concentratie van stoffen in een celwand is gelijk aan de concentratie van deze stoffen in de vloeistof buiten de cel.
- Onder normale omstandigheden is de osmotische waarde van het cytoplasma hoger dan die van het vocht in de celwanden.
 - Turgor: de druk van de cel op de celwand. Door het verschil in osmotische waarde is de druk in de cel groter dan de druk buiten de cel, waardoor de cel stevig is (turgerscent).
- Als het vocht in de celwanden een hogere osmotische waarde heeft dan het cytoplasma, stroomt door osmose water de cel uit. De turgor daalt en de osmotische waarde van het vacuolevocht stijgt.
 - Plasmolyse: de cel krimpt zover dat het celmembraan loslaat van de celwand.

LEERDOEL 13 ►► BASISSTOF 5

Je kunt beschrijven hoe transport van stoffen via (cel-)membranen plaatsvindt.

- Het celmembraan vormt de scheiding tussen de celinhoud en zijn milieu.
 - Celmembranen en membranen van organellen zijn semipermeabel.
 - De opname en afgifte van veel stoffen wordt gereguleerd door eiwitten in het membraan.
- Transport van zuurstof, koolstofdioxide en in vet oplosbare stoffen vindt plaats door diffusie door de fosfolipidenlagen heen.
 - Het transport van deze stoffen is afhankelijk van het concentratieverschil.
- Passief transport: transport van stoffen door een membraan waarbij geen energie nodig is.
 - Verloopt met het concentratieverval mee.
 - Vormen van passief transport: diffusie, osmose, transport via porie-eiwitten en bepaalde transport-eiwitten.
 - Porie-eiwitten zorgen voor het ionentransport van bijvoorbeeld Na^+ , K^+ , Ca^+ en transport van water (aquaporines).
 - Transporteiwitten binden specifieke moleculen en transporteren ze een cel in of uit.
- Actief transport: transport van stoffen door een membraan waar energie voor nodig is.
 - Actief transport verloopt tegen het concentratieverval in.
- Transport via blaasjes.
 - Exocytose: afsnoeren van blaasjes door het celmembraan om stoffen naar buiten de cel te transporteren (secretie).

- Endocytose: afsnoeren van blaasjes (endosoom) door het celmembraan om stoffen in de cel op te nemen.
- Lysosomen: blaasjes die verteringsenzymen bevatten.
- Fagocytose: opnemen van voedsel via blaasjes (voedingsvacuole).

LEERDOEL 14 ►► BASISSTOF 6**Je kunt verschillende typen en methoden van natuurwetenschappelijk onderzoek beschrijven.**

- Beschrijvend onderzoek: de onderzoeker verzamelt observaties en/of metingen (data) die tot een conclusie kunnen leiden.
- Hypothesetoetsend onderzoek: een onderzoeker bedenkt een methode om een hypothese te toetsen.
 - Een hypothese is een mogelijke verklaring voor een waarneming van een verschijnsel of een mogelijk verband tussen verschijnselen.
 - Steekproef: onderzoekers selecteren een representatief deel van de te onderzoeken groep.
- Ontwerpend onderzoek: een onderzoeker ontwikkelt materialen, instrumenten, modellen of systemen als antwoord op een onderzoeksvraag.
 - Model: vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid.
- Fasen van een natuurwetenschappelijk onderzoek:
 - Waarneming: het waarnemen van een bepaald natuurverschijnsel dat in aanmerking komt voor verder onderzoek.
 - Onderzoeksvraag: beschrijft een natuurwetenschappelijk probleem waarop een antwoord wordt gezocht.
 - Hypothese: geeft een mogelijke verklaring voor het probleem.
 - Verwachting: op grond van de hypothese geef je aan welke waarnemingen je waarschijnlijk doet als de hypothese juist is.
 - Experiment: de fase van de uitvoering van het onderzoek waarin je toetst of de opgestelde hypothese juist is of onjuist.
 - Bij een experiment wordt vaak gewerkt met een experimenteelgroep en een controlegroep (de blanco-proef).
 - Per experiment wordt één factor tegelijk onderzocht, alle andere omstandigheden zijn gelijk.
 - Om betrouwbare gegevens te krijgen, bestaan alle groepen uit grote aantallen.
 - Resultaten: verzamelde observaties of (meet)-gegevens geef je overzichtelijk weer.
 - Conclusie: Je geeft antwoord op de onderzoeksvraag en verworpt of bevestigt de hypothese.

- Theorie: verklaart verschillende samenhangende hypothesen die bij experimenten juist zijn gebleken. Elke theorie is geldig tot het tegendeel wordt aangetoond.

LEERDOEL 15 ►► BASISSTOF 6**Je kunt een werkplan maken voor het uitvoeren van een natuurwetenschappelijk onderzoek.**

- In een werkplan beschrijf je hoe je je onderzoek gaat uitvoeren en maak je een lijst van de materialen die je nodig hebt.

COMPETENTIES/VAARDIGHEDEN

Je hebt de volgende vaardigheden geoefend:

- doelgericht zoeken, beoordelen en selecteren van informatie;
- analyseren welke rol biologie heeft in natuurwetenschappelijk onderzoek, beroepen en de dagelijkse praktijk;
- toepassen van verschillende fasen van natuurwetenschappelijk onderzoek;
- uitvoeren van een natuurwetenschappelijk onderzoek;
- verzamelen, bewerken en overzichtelijk weergeven van data;
- vorm-functiedenken op het niveau van cellen, weefsels, organen en organismen;
- met elkaar in verband brengen van biologische verschijnselen op de verschillende organisatieniveaus (systeemdenken).

Examentrainer

BENZODIAZEPINEN

Naar: pilot examen vwo 2014-II, vragen 34, 35, 36.

Uit gezondheidsoverwegingen wordt in Nederland geprobeerd het gebruik van bepaalde kalmerende middelen, de benzodiazepinen, terug te dringen door ze niet meer te vergoeden via de zorgverzekering. Probleem is dat bij langdurig gebruik van benzodiazepinen, zoals valium, gewenning en zelfs verslaving optreedt.

Het onderzoek is een voorbeeld van een quasi-experiment: in dit geval werd gedurende enige tijd de medische geschiedenis van verschillende groepen gevolgd, voor en na een bepaalde verandering.

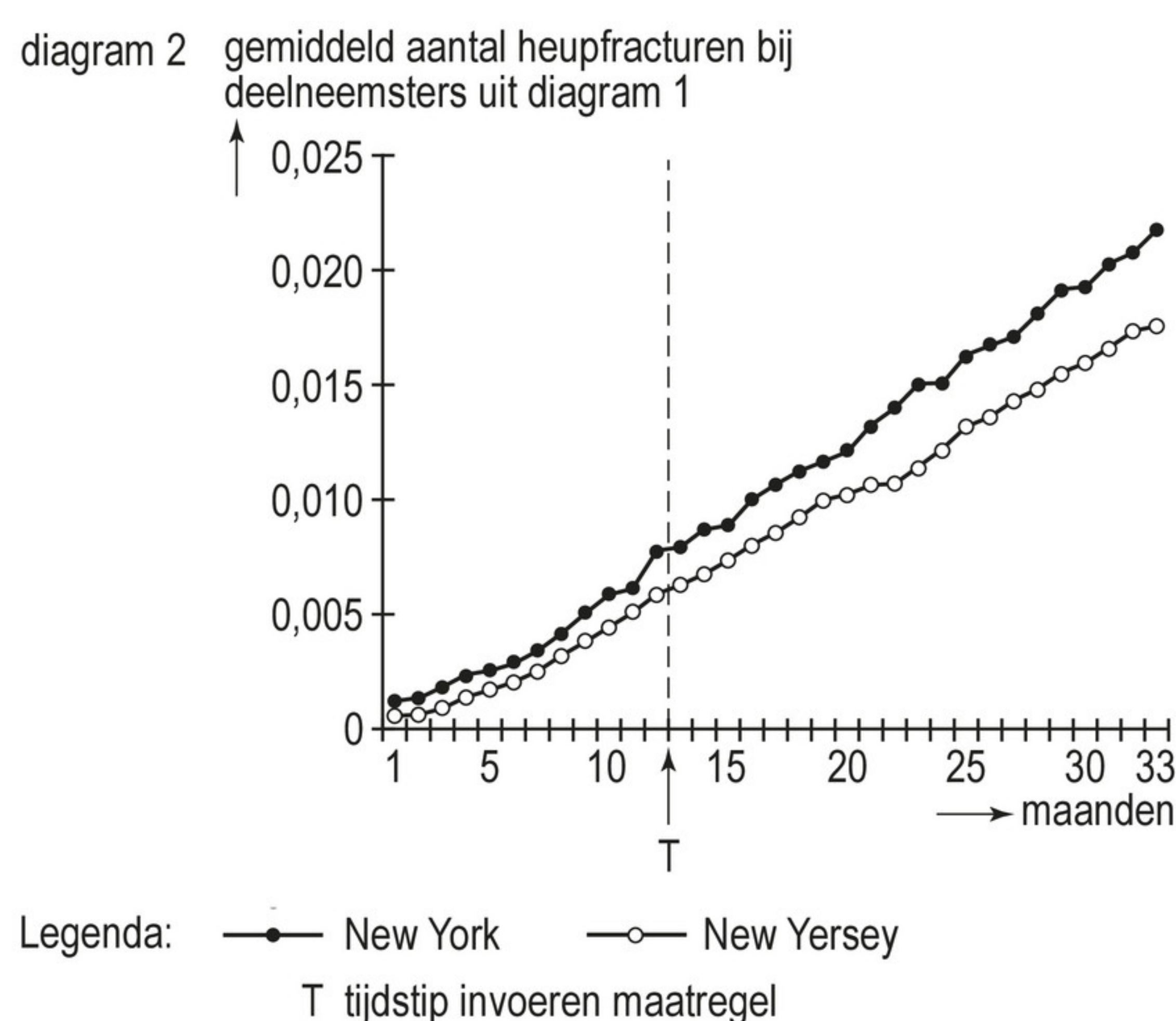
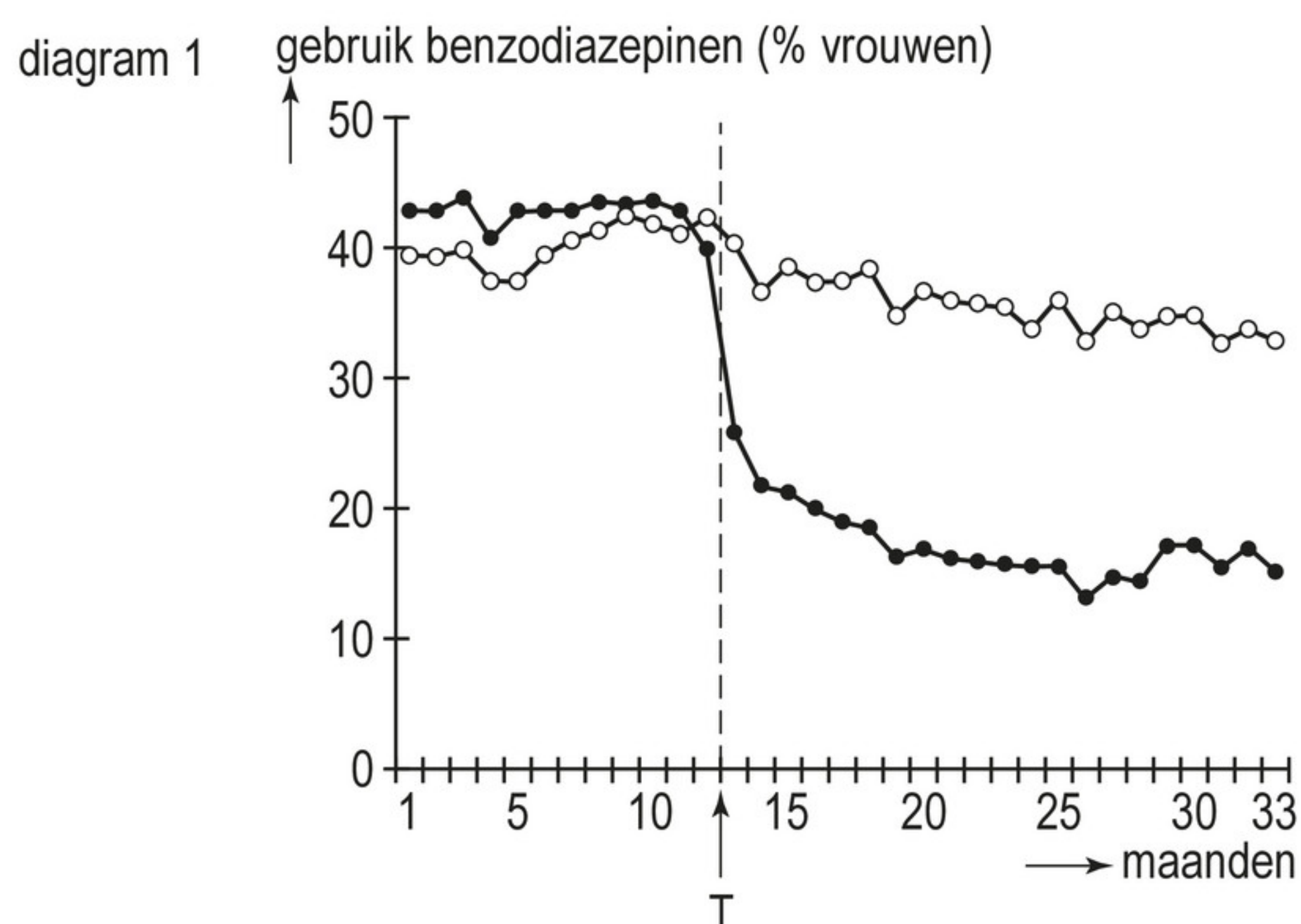
- 1p **1** Waarin verschilt de opzet van een experimenteel onderzoek met een dergelijk quasi-experiment? Beschrijf een verschil.
- 3p **2** – Formuleer een hypothese die past bij het Amerikaanse onderzoek.
– Beargumenteer of de resultaten in afbeelding 1 deze hypothese wel of niet ondersteunen.

Er zijn verschillende argumenten aan te voeren waarom een quasi-experiment soms te verkiezen is boven een experimenteel onderzoek.

- 3p **3** Geef een argument om in dit geval te kiezen voor een quasi-experiment.

In de staten New York en New Jersey is onderzoek gedaan naar de relatie tussen het gebruik van benzodiazepinen en botbreuken. De keuze was op deze staten gevallen omdat ze naast elkaar liggen en in New York een maatregel van kracht werd die het gebruik van benzodiazepinen terugdrog. In beide staten werd het gebruik van benzodiazepinen en het aantal heupfracturen bij bewoners in kaart gebracht voor en na het invoeren van de maatregel. In afbeelding 1 zijn enkele resultaten van het Amerikaanse onderzoek weergegeven.

▼ Afb. 1



ONDERDOMPELGEN MAAKT RIJSTRASSEN 'WATERPROOF'

Naar: pilot examen vwo 2014-1, vraag 1.

Rijst is een semi-aquatische plantensoort, maar blijkt bijna even gevoelig voor volledige onderdompeling als veel landplantensoorten. Gewone rijstplanten die compleet onder water worden gezet, reageren meestal door hun celdeling en celstrekking te versnellen. Celdeling vindt vooral plaats in de knopen, celstrekking vooral in de leden van de rijststengels (tussen de knopen).

Drie transportprocessen door celmembranen zijn:

- 1 actief (ionen)transport;
- 2 endocytose van organische stoffen (door endosomen);
- 3 osmose.

1p 4 Welke twee van deze transportprocessen vinden achter-eenvolgens plaats bij celstrekking?

- A 1 en daarna 2
- B 2 en daarna 1
- C 1 en daarna 3
- D 3 en daarna 1
- E 2 en daarna 3
- F 3 en daarna 2

EEN MINIDARM KWEKEN UIT ÉÉN STAMCEL

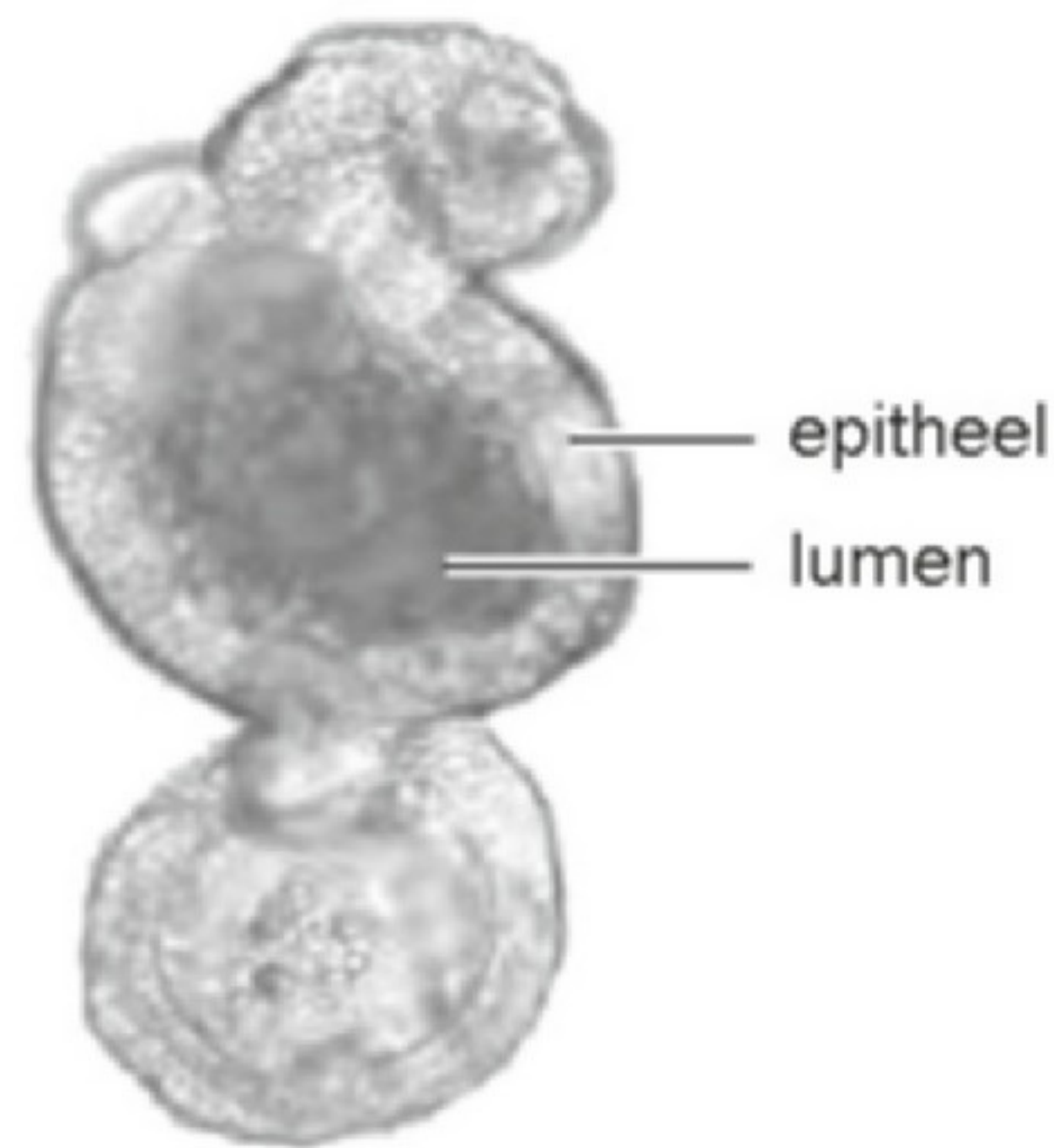
Naar: pilot examen vwo 2011-1, vragen 11 en 12.

Om in vitro (buiten het lichaam) een stukje huid te kweken is, naast de juiste dosering van groeifactoren, meestal ook een drager met spiercellen vereist.

De stukjes dunne darm in de experimenten van Clevers konden acht maanden lang groeien zonder deze drager. Kennelijk hebben de darmstamcellen een zelforganiserend vermogen; darmcellen kunnen zich dus organiseren tot darmweefsel. Een van de daarvoor benodigde eigenschappen is dat de cellen zich snel en vaak delen. In afbeelding 2 is zo'n minidarm te zien, in elf dagen gegroeid uit één darmstamcel.

2p 5 Noem nog twee eigenschappen van de darmstamcellen die noodzakelijk zijn voor het zelf-organiserend vermogen tot een minidarm.

▼ Afb. 2



Lumen betekent holte.

1p 6 Waaraan is onder de microscoop te zien dat er zelforganisatie plaatsvindt?

ZEESLAK DOET AAN FOTOSYNTHESE

Naar: examen vwo 2015-1, vraag 14.

Dieren die in symbiose (samenleven) leven met planten zijn allang bekend. De groene zeeslak *Elysia chlorotica* gaat nog een stapje verder en gebruikt alleen de chloroplasten van de alg *Vaucheria litorea*.

Nadat jonge slakjes van deze algen hebben gegeten, worden de chloroplasten opgenomen door cellen van hun darmkanaal. De slakken hoeven de rest van hun leven niet meer te eten, omdat de chloroplasten in ieder geval zes maanden blijven functioneren. Eenmaal in de slak delen de chloroplasten niet meer. Ze worden ook niet via de eitjes doorgegeven aan de nakomelingen van de slak. Doordat de slak een gen van de alg bezit, blijven de chloroplasten lange tijd werkzaam.

2p 7 Door welk transportmechanisme zijn de chloroplasten vanuit het darmlumen in de darmwandcellen van de slak terechtgekomen?

- A door middel van endocytose (door endosomen)
- B via een porie-eiwit in het celmembraan
- C met behulp van een transporteiwit in het celmembraan

2

Voortplanting

Reproductie is een eigenschap van biologische systemen. Voor ongeslachtelijke voortplanting heeft een organisme geen ander individu nodig, voor geslachtelijke voortplanting is wel interactie met een ander individu nodig. Hormonen spelen een belangrijke rol bij de voortplanting. Ze regelen onder andere de werking van de voortplantingsorganen. In dit thema leer je hoe mensen niet alleen hun eigen voortplanting kunnen beïnvloeden, maar ook die van andere organismen.

ONTDEKKEN

Een kwestie van leven en dood	72
-------------------------------	----

BASISSTOF

1 Ongeslachtelijke voortplanting	74
2 Geslachtelijke voortplanting	81
3 Hormonen	87
4 Zwanger	92
5 Seksualiteit	100
6 Soa's en geboorteregeling	106
7 Ongewenst kinderloos	111

SAMENHANG

Waarom hebben we eigenlijk seks?	114
----------------------------------	-----

PRACTICA	116
----------	-----

SAMENVATTING	118
--------------	-----

EXAMENTRAINER	122
---------------	-----







‘De overheid verstrekt nu gratis aidsremmers.’

Een kwestie van leven en dood

►► BASISSTOF 6

Je bent klaar met de middelbare school en gaat er een jaar tussenuit! Je besluit om samen met een vriend vrijwilligerswerk te gaan doen in een Braziliaanse favela (sloppenwijk). Zo kun je helpen om ongewenste zwangerschappen en soa's bij tienermoeders te voorkomen.

De Nederlander Antoon van Noije begon 25 jaar geleden met het opvanghuis voor hiv-kinderen. Er heerste toen een groot taboe rond aids in Brazilië. Daardoor werden veel besmette kinderen verstoten. Van Noije: ‘Mensen vreesden dat hun huis minder waard zou worden met aidspatiënten als burens. En ze waren doodsbang voor besmettingsgevaar.’ Door een open houding en veel uitleg over de ziekte en het virus wist Van Noije de angst langzaam terug

te dringen. ‘We hebben heel veel voorlichting gegeven bij scholen, kerken en bedrijven. Maar ook aan de kinderen die bij ons wonen, zodat zij het kunnen doorvertellen in hun omgeving. We proberen vooral uit te leggen dat niet wij bang moeten zijn voor besmetting door een aidspatiënt, maar eerder andersom. Juist wij kunnen ziekten overbrengen waar iemand met aids aan kan sterven.’ Langzaam won Van Noije het vertrouwen van de omgeving.

Niet alleen de taboesfeer rond aids is verminderd, ook het aantal patiënten en virusdragers is afgenomen. Met de komst van de aidscocktail, een verbeterd medicijn, worden er nu aanzienlijk minder hiv-baby's geboren. Waar aidsremmers vroeger nog onbetaalbaar waren, verstrekt de overheid ze nu gratis aan de bevolking. ‘In de begintijd werd er in ons tehuis elke week wel een plekje aangevraagd voor een jonge baby. Nu gebeurt dat nog maar een paar keer per jaar.’ Ook het aantal sterfgevallen in Sitio Agar is door de verbeterde medicatie aanzienlijk verminderd. ‘Van een tehuis dat kinderen begeleidt naar de dood, zijn wij een plek geworden die hen begeleidt naar de toekomst.’

Naar: ‘Ze mogen mij geen papa noemen’, Rebecca van de Kar, www.verspers.nl.

▼ **Afb. 1** Een Braziliaanse favela.



Een tussenjaar als vrijwilliger

Je bent klaar met het vwo en gaat er een jaar tussenuit! Samen met een vriend besluit je vrijwilligerswerk te gaan doen in een Braziliaanse favela. Op internet lees je een artikel over een stichting die werkt in de sloppenwijken van Rio de Janeiro. De stichting helpt moeders en kinderen die besmet zijn met hiv. Ook wil ze het aantal soa-besmettingen terugdringen en ongewenste zwangerschappen bij tienermeisjes voorkomen. Dat lijkt jullie wel wat. Jullie hebben een brief geschreven aan de stichting en zijn door de eerste selectieronde gekomen. Nu mogen jullie laten zien wat je kunt bijdragen. De stichting wil graag weten of jullie de bijbehorende problemen kennen en begrijpen. Je krijgt de volgende e-mail:

▼ **Afb. 2** E-mail met bijlage van de Stichting Encantada.

 Aan: jou en je vriend
Onderwerp: sollicitatie Encantada

Beste kandidaat,

Bedankt voor je sollicitatie naar een jaar als vrijwilliger bij onze stichting. We zijn erg blij dat je ons wilt komen helpen in ons huis voor moeders en kinderen met hiv. Graag onderzoeken we samen met jou de mogelijkheden voor een uitzending naar Rio de Janeiro. Van onze vrijwilligers vragen we om zich, naast de hulp in het opvanghuis, ook in te zetten voor de bewoners van de wijk. Daarbij kun je kiezen voor:

- A het tegengaan van besmetting met de meest voorkomende soa's (bij mannen en vrouwen);
- B het voorkomen van ongewenste zwangerschap bij tieners en jonge vrouwen.

Waar ligt jouw interesse? Maak een keuze (A of B) en laat ons weten hoe jij hieraan kunt bijdragen! Bij je e-mail ontvangen we graag een bijlage waarin je laat zien wat je weet van deze onderwerpen en hoe je de wijkbewoners hierbij kunt helpen.

 Hartelijke groeten,
Stichting Encantada

Bij de keuze voor onderwerp A

Breng in kaart wat de besmettingsrisico's zijn van de veelvoorkomende soa's chlamydia, gonorroe, syfilis en herpes genitalis. Doe dat voor zowel mannen als vrouwen. Bedenk welke maatregelen de organisatie en jullie als vrijwilliger kunnen nemen om het aantal soa-besmettingen terug te dringen. Houd rekening met de rol van de cultuur en het geloof in Brazilië.

Bij de keuze voor onderwerp B

Breng in kaart wat voor ongewenste zwangerschappen zorgt. Welke maatregelen zouden jullie en de organisatie kunnen treffen om het aantal ongewenste zwangerschappen terug te dringen? Welke voorbehoedsmiddelen zouden kunnen worden verstrekt en wat zijn de voor- en nadelen van deze voorbehoedsmiddelen?

opdracht

- 1 Kies onderwerp A of B.
 - a Verwerk de informatie in een bijlage bij je e-mail. Zorg voor een bronvermelding en beeldmateriaal. De bijlage telt maximaal vierhonderd woorden. Maak indruk op de stichting!
 - b Gefeliciteerd, je bent uitgenodigd voor sollicitatieronde 3. Laat zien wat je hebt gemaakt en geef een mondelinge toelichting.

Voorlichting door Sense

Voordat een groep nieuwe vrijwilligers naar Brazilië vertrekt, zijn er altijd veel vragen van de jongeren en hun ouders. Vooral het gevaar op besmetting met hiv houdt de ouders bezig.

In Nederland zijn er verschillende instellingen die informatie geven over hiv. Sense is zo'n organisatie.

Hulpverleners van Sense geven voorlichting, beantwoorden vragen via e-mail, voeren chatsessies met jongeren die een vraag hebben en houden spreekuren.

opdracht

- 2 Je bent een van de voorlichters van Sense. Stichting Encantada heeft je gevraagd om een voorlichting te verzorgen voor nieuwe vrijwilligers en hun ouders over het omgaan met hiv-besmette kinderen en de gevaren van dit virus. Je moet antwoord kunnen geven op de meest gestelde vragen van de vrijwilligers en hun ouders.
 - a Bedenk eerst met elkaar welke vragen de ouders zeer waarschijnlijk gaan stellen. Stuur je vragenlijst naar een collega. Misschien heeft hij nog aanvullingen.

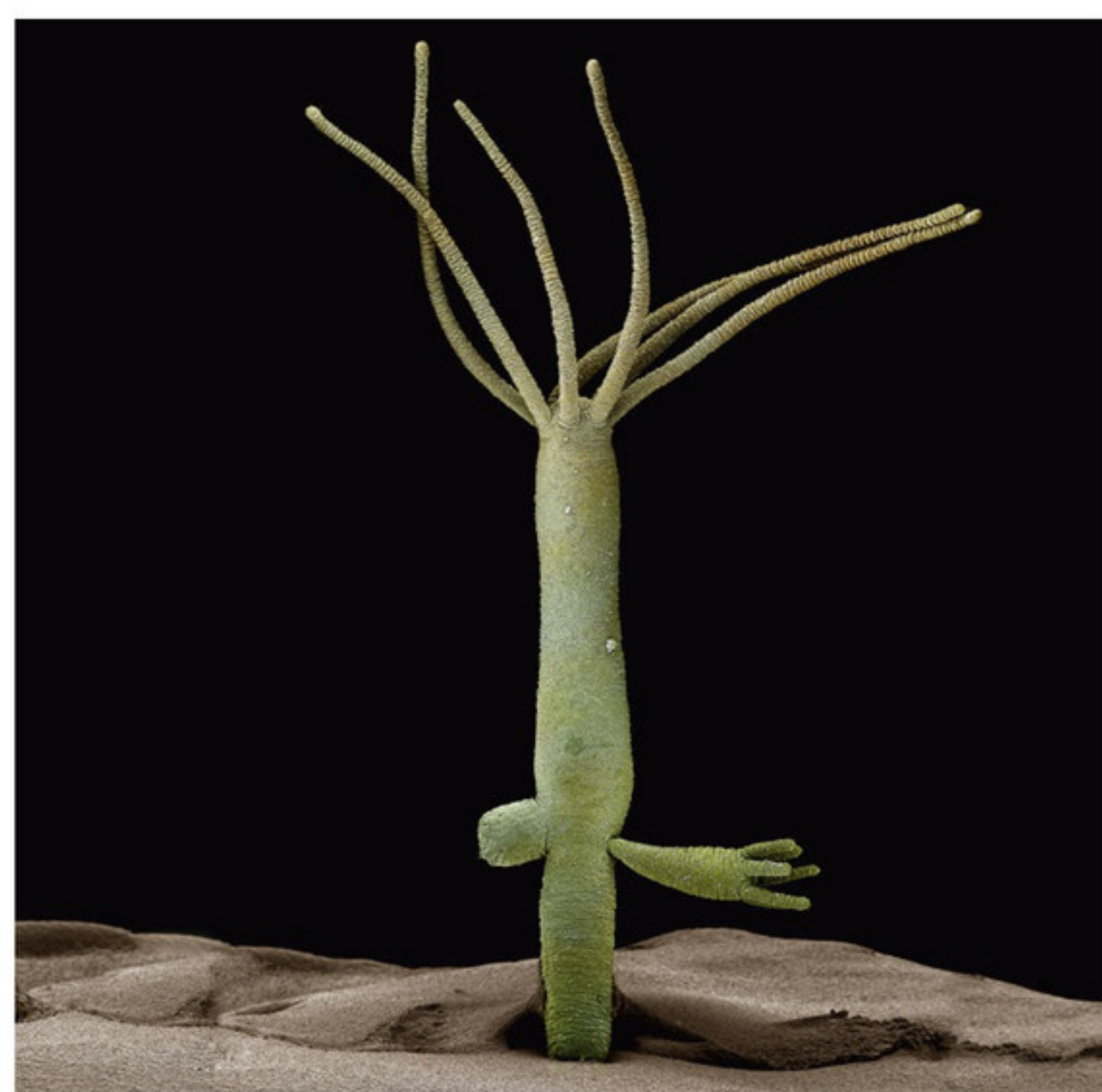
De voorlichting zal op meerdere plaatsen in het land gegeven gaan worden door verschillende collega's. Daarvoor maken jullie een voorlichtingspakket met alle benodigde informatie: een presentatie (bijvoorbeeld in PowerPoint of Prezi) en een lijst met de meestgestelde vragen en antwoorden daarop.

- b Maak de presentatie en de lijst en stuur het pakket (of een link) naar al je collega's. In de volgende teamvergadering presenteren jullie het pakket.

Leerdoelen

- Je kunt de gebeurtenissen tijdens de celcyclus beschrijven en toepassen.
- Je weet dat door ongeslachtelijke voortplanting nakomelingen ontstaan die identiek zijn aan de ouder.
- Je kunt standpunten over klonen van organismen toelichten met ethische en biologische argumenten.

▼ **Afb. 1** Ongeslachtelijke voortplanting bij poliep en aardbei.



1 Een poliep vormt knoppen.



2 Een aardbei vormt uitlopers.

1 Ongeslachtelijke voortplanting

Voortplanting is nodig voor de instandhouding van leven op aarde. Zonder reproductie sterven soorten snel uit. Er zijn twee manieren waarop organismen zich kunnen voortplanten: alleen of met een ander.

CELDELING

Cellen kunnen zich reproduceren (voortplanten) door **celdeling**. Bij celdeling ontstaan uit een **moeder cel** twee identieke **dochtercellen**, die dezelfde genetische eigenschappen bevatten. Tijdens de reproductie gaat de oorspronkelijke cel op in de dochtercellen.

Celdeling speelt een belangrijke rol in het leven van een organisme. Celdeling is van belang bij voortplanting en groei van een organisme. Ook kunnen cellen vervangen worden dankzij celdeling, bijvoorbeeld cellen die oud zijn of beschadigd zijn geraakt bij een verwonding.

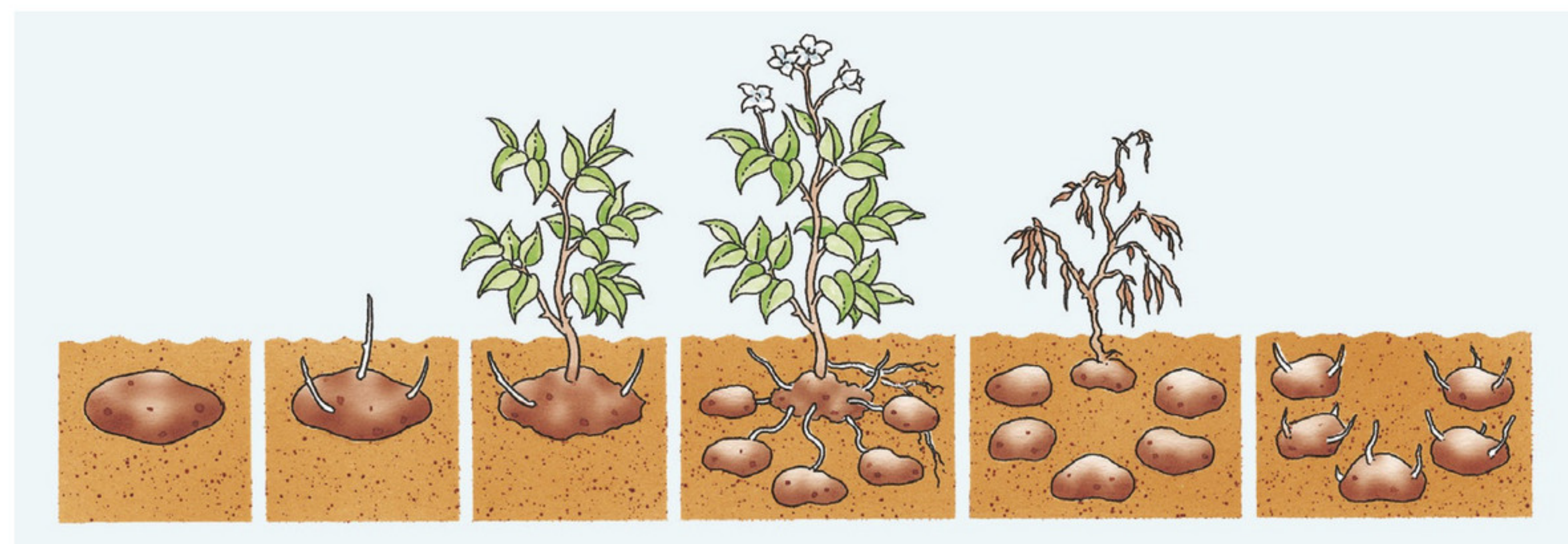
OP NATUURLIJKE WIJZE

Bij **ongeslachtelijke voortplanting** ontstaan door celdeling nakomelingen die genetisch identiek zijn aan de ouder. Eencelligen zoals bacteriën, planten zich ongeslachtelijk voort door celdeling. De eencellige deelt zich, waarna beide cellen uitgroeien tot volledige organismen. Ook schimmels, planten en sommige dieren kunnen zich ongeslachtelijk voortplanten. Uit poliepen (dieren) kunnen bijvoorbeeld nieuwe poliepen ontstaan door knopvorming (zie afbeelding 1.1).

Ongeslachtelijke voortplanting bij zaadplanten kan op verschillende manieren gebeuren. Aardbeien vormen uitlopers waaraan nieuwe aardbeiplanten ontstaan (zie afbeelding 1.2). Aardappelplanten vormen knollen met knoppen (zie afbeelding 2). Uit een knop die uitloopt, ontstaat een nieuwe aardappelplant. De nieuwe aardappelplant vormt op zijn beurt weer nieuwe knollen. Uit elke knol kan één nieuwe aardappelplant ontstaan.

Bolgewassen planten zich ongeslachtelijk voort door bollen. Tussen de rokken bevinden zich knoppen (zie afbeelding 3). Als in het voorjaar een tulpenbol uitloopt vanuit een knop, wordt een deel van het reservevoedsel uit de rokken verbruikt. De rokken verschrompelen en de overgebleven knoppen ontwikkelen zich tot nieuwe tulpenbollen.

▼ **Afb. 2** Ongeslachtelijke voortplanting door knollen (bij een aardappel).

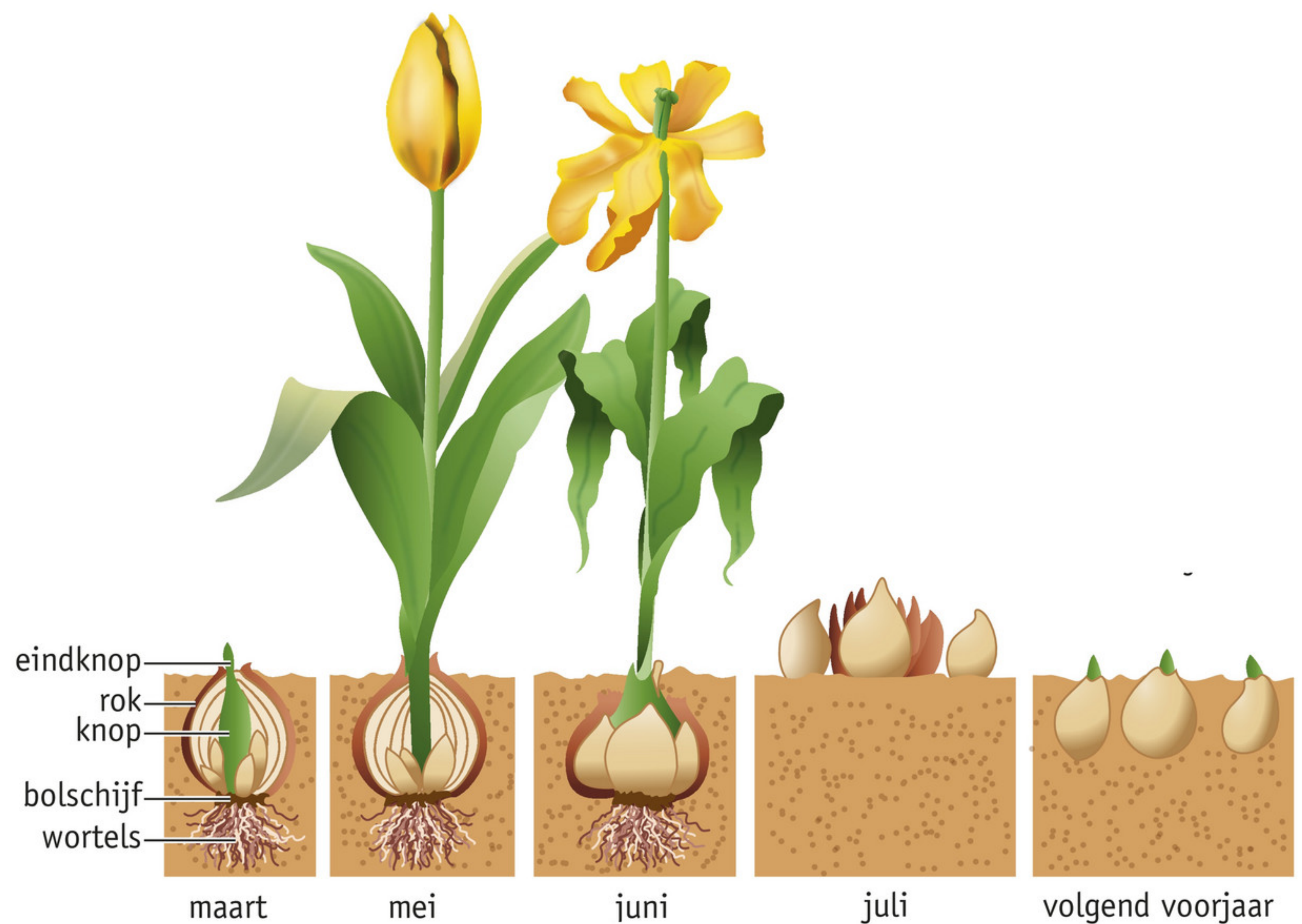


OP KUNSTMATIGE WIJZE

Ongeslachtelijke voortplanting kan ook op kunstmatige wijze plaatsvinden. De bekendste methode is stekken. Bij stekken snijd je een stuk van een stengel of een blad af. Op het snijvlak ontwikkelen zich wortels. Hieruit kan zich een nieuwe plant ontwikkelen.

Een speciale manier van stekken is weefselkweek. Stukjes weefsel van een gezonde, goed groeiende plant worden op een geschikte voedingsbodem met plantenhormonen (groeistoffen) gebracht. De cellen delen zich en na enkele weken is een hoeveelheid ongedifferentieerd weefsel ontstaan: de callus. Dit weefsel wordt vervolgens in stukjes verdeeld en op een andere voedingsbodem met andere plantenhormonen gebracht. Onder invloed van deze hormonen differentiëren en specialiseren de cellen zich. Er groeien kleine plantjes uit de callus. Van deze plantjes kunnen opnieuw stukjes weefsel worden gesneden. Op deze manier ontstaan steeds meer plantjes met dezelfde erfelijke eigenschappen als de moederplant.

► **Afb. 3** Ongeslachtelijke voortplanting door bollen (bij een tulp).



Een organisme dat door ongeslachtelijke voortplanting uit één organisme is ontstaan, noem je een **kloon**. Het kweken van deze individuen heet **klonen**. Klonen met de weefselkweektechniek wordt op grote schaal toegepast bij de kweek van sierbloemen en in de voedingsindustrie (bijvoorbeeld bij de kweek van oliepalmen, zie afbeelding 4).

► **Afb. 4** Stadia in de weefselkweektechniek bij de oliepalm.



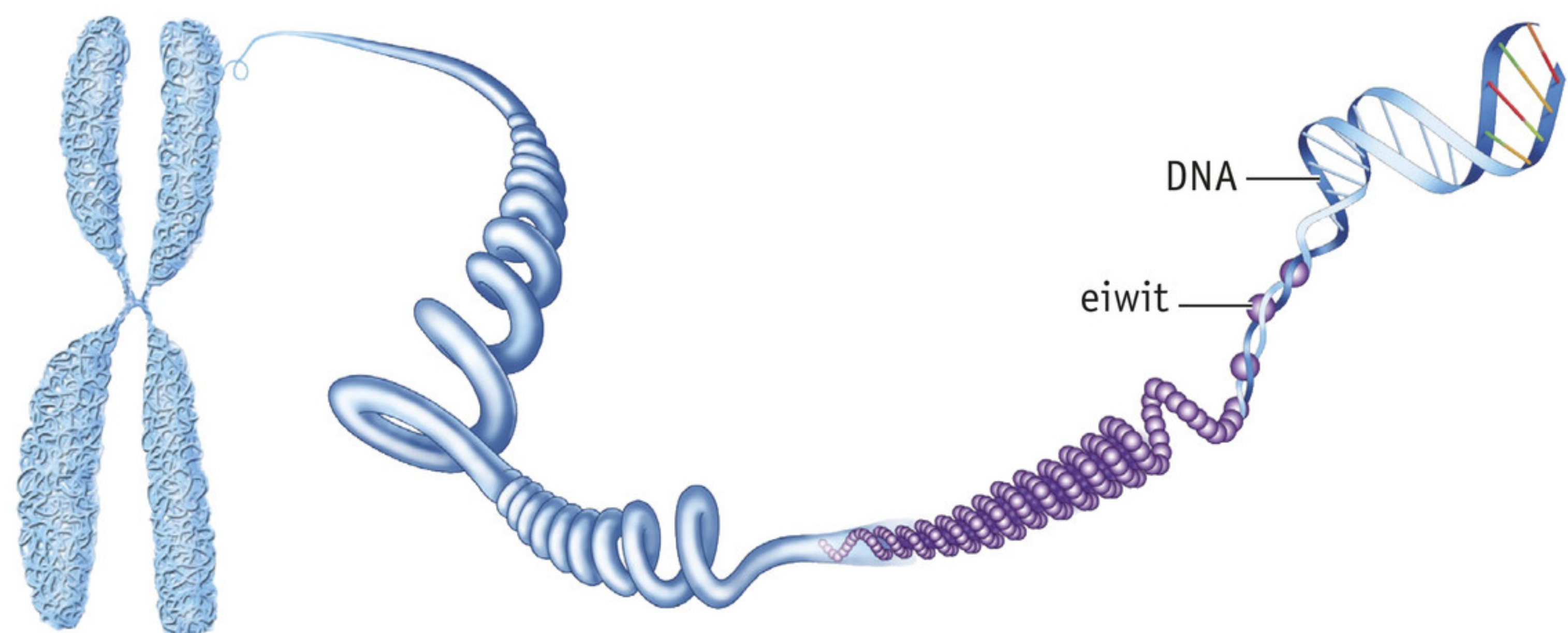
opdrachten

- 1 Noteer drie manieren waarop celdeling van belang is tijdens het leven van een organisme.
- 2 Verloopt de voortplanting van een bacterie op lineaire wijze of op exponentiële wijze?
- 3 Welke overeenkomst hebben tulpen die in opeenvolgende jaren zijn ontstaan uit een bol en plantjes die zijn ontstaan door klonen bij de weefselkweektechniek?
- 4
 - a Noteer een voordeel van de weefselkweekmethode voor de kweek van sierbloemen.
 - b Noteer een nadeel van de weefselkweekmethode voor de kweek van sierbloemen.
 - c Wat vind jij van klonen van planten? Beargumenteer je antwoord.

CEL CYCLUS

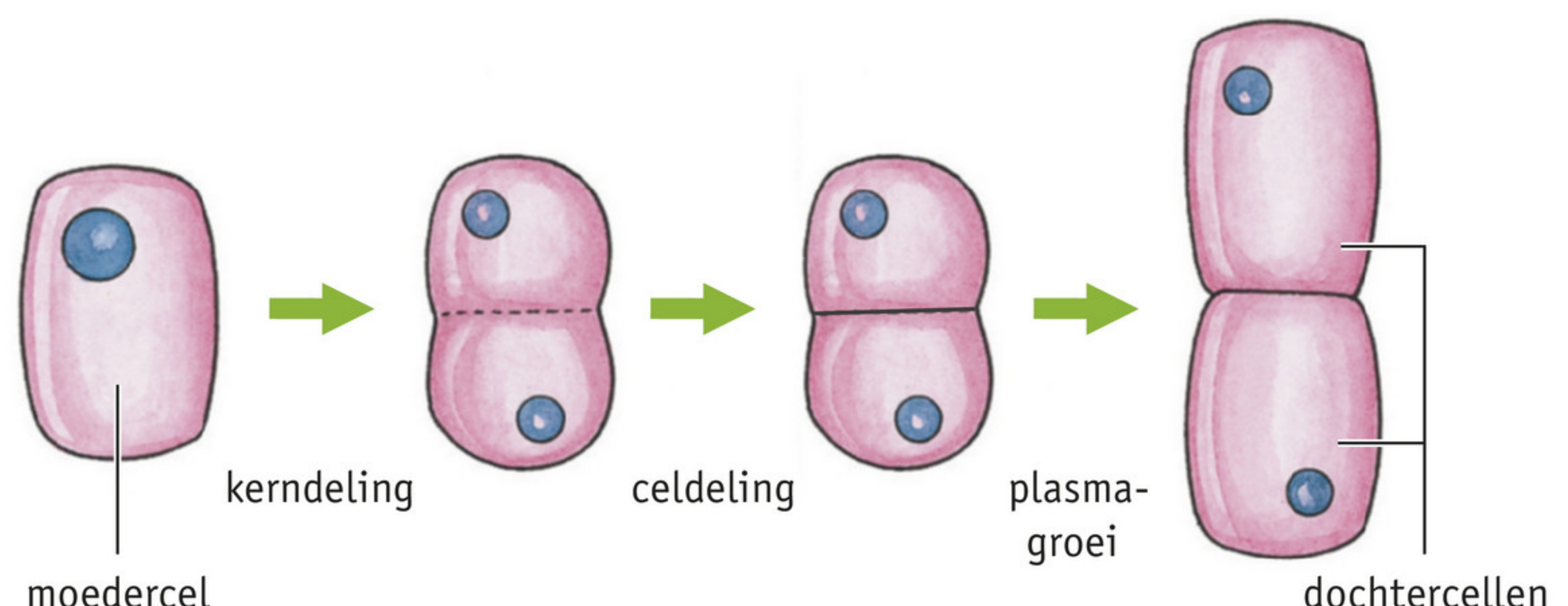
Bij celdeling ontstaan uit een cel twee cellen met dezelfde erfelijke eigenschappen. De erfelijke eigenschappen van een organisme liggen vast in het DNA. Voordat een cel deelt, wordt het DNA in de chromosomen gekopieerd (zie afbeelding 5). Elke nieuwe cel ontvangt bij de deling dezelfde set chromosomen: de ene helft is oorspronkelijk materiaal van de moedercel, de andere helft een exacte kopie daarvan.

► **Afb. 5** Een chromosoom na verdubbeling (schematisch).

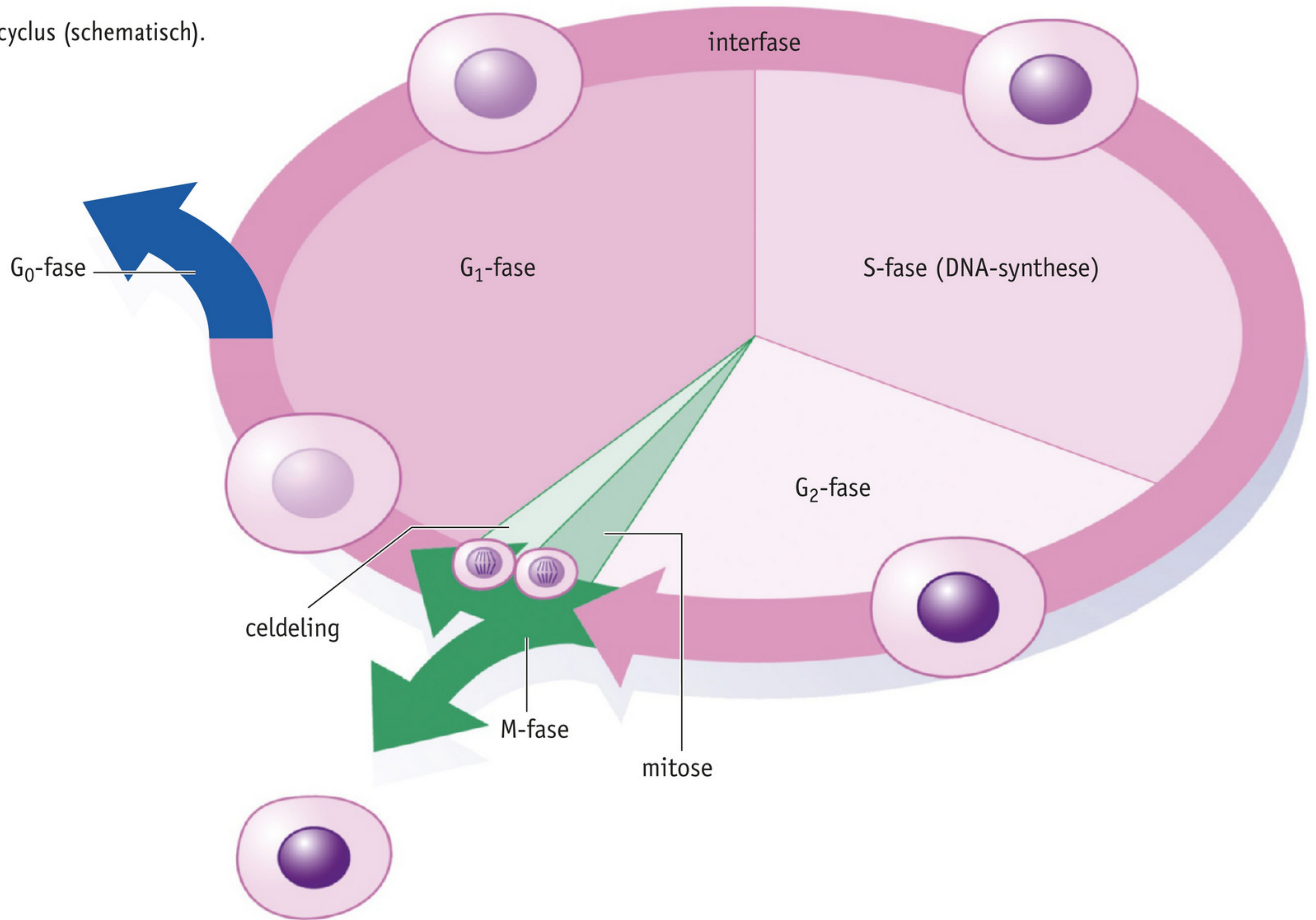


DNA is ontzettend lang en dun. Bij een mens kan het DNA van de chromosomen van één cel in totaal wel twee meter lang zijn. Aan het begin van een celdeling **spiraliseren** (oprollen) de chromosomen, waarbij ze veel korter en dikker worden. Daardoor zijn ze te zien met een lichtmicroscop. Na de celdeling ontrollen de chromosomen weer en zijn ze niet meer zichtbaar met de lichtmicroscop. Bij planten, dieren en schimmels begint een celdeling met de deling van de celkern. De kerndeling heet **mitose**. Na de mitose snoert de cel tussen de kernen in en ontstaan er twee nieuwe cellen. De cellen vormen na de deling nieuw cytoplasma, **plasmagroei** genoemd (zie afbeelding 6). Ook neemt het aantal celorganellen toe.

► **Afb. 6** De vorming van nieuwe cellen (schematisch).



► **Afb. 7** De celcyclus (schematisch).



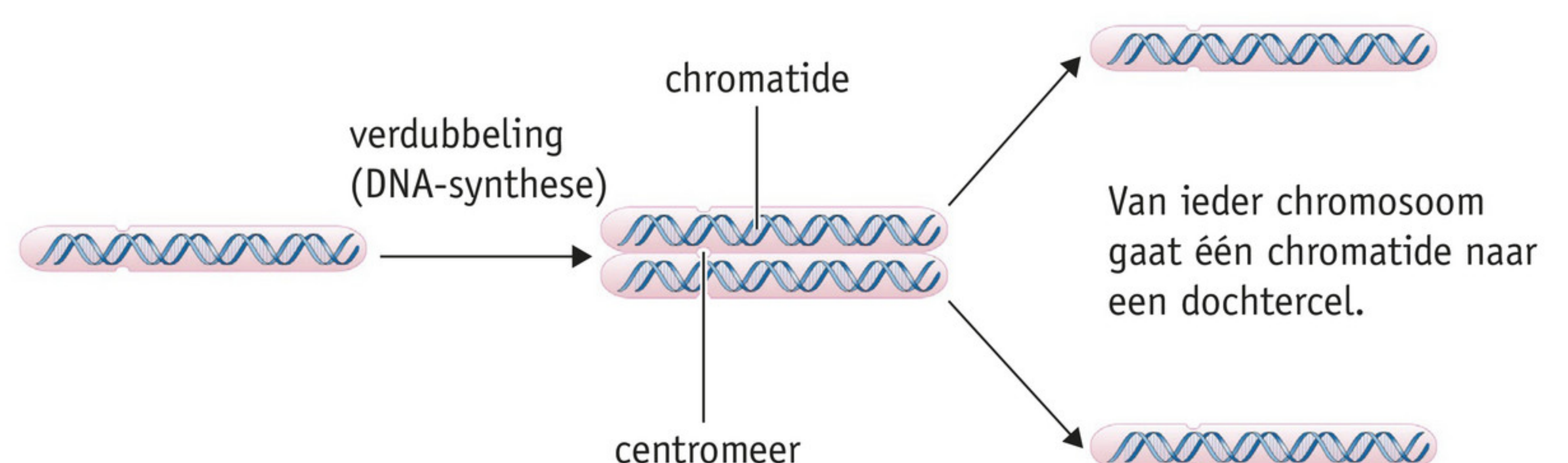
Afbeelding 7 geeft schematisch een **celcyclus** weer. De **M-fase** (mitotische fase) is de periode waarin de kerndeling en celdeling plaatsvinden. De periode tussen twee celdelingen is de zogeheten **interfase**. Ongeveer halverwege de interfase wordt van elk DNA-molecuul een kopie gemaakt: de **DNA-replicatie** of **DNA-synthese**. De fase waarin dat gebeurt, heet de **S-fase** (synthesefase). De kopie blijft tijdelijk vastzitten aan het DNA waarvan de kopie is gemaakt. De plaats waar de kopie vastzit aan het DNA, noem je het **centromeer** (zie afbeelding 8). Zolang de DNA-moleculen nog aan elkaar vastzitten, worden ze **chromatiden** genoemd. Na de S-fase bestaat een chromosoom dus uit twee chromatiden.

De periode tussen de M- en de S-fase wordt de **G₁-fase** genoemd. De 'G' is afkomstig van het Engelse woord gap. De periode tussen de S- en de M-fase wordt de **G₂-fase** genoemd. De interfase bestaat dus achtereenvolgens uit de G₁-fase, de S-fase en de G₂-fase.

Cellen kunnen ook in rust zijn; er treden dan geen delingen op. Dit is de **G₀-fase**.

Op verschillende momenten in de celcyclus controleert het controlesysteem van de cel of de stappen tot dat moment goed zijn verlopen. Als dat zo is, gaat de celcyclus verder. Er zijn controlepunten tijdens de G₁-fase, de G₂-fase en de M-fase.

► **Afb. 8** Verdeling van de chromatiden tijdens mitose (schematisch).



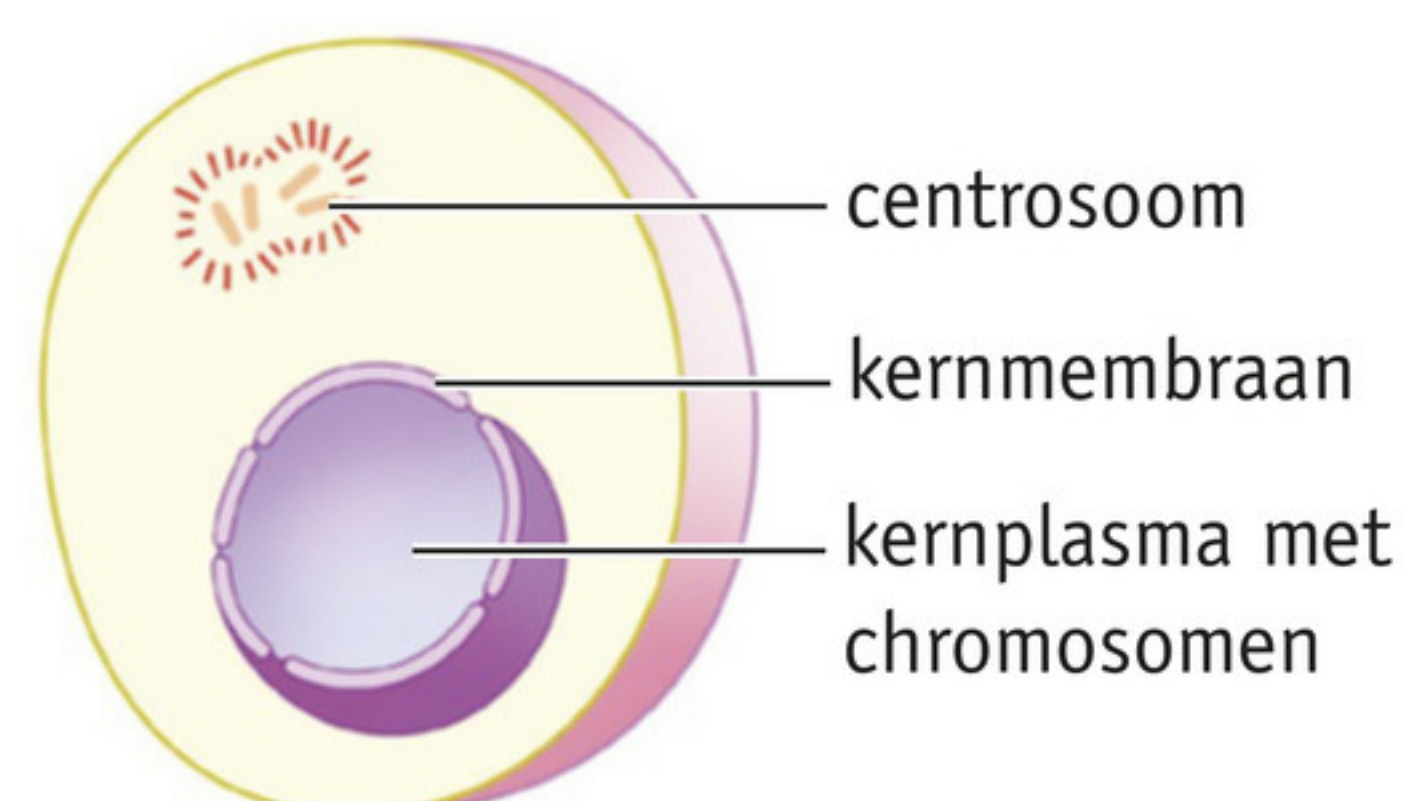
MITOSE

Ook de mitose vindt plaats in fasen. In afbeelding 9 is het verloop van de mitose en de celdeling van een dierlijke cel schematisch weergegeven.

Het **centrosoom** (spoellichaampje) is een gebied waarin bij dierlijke cellen twee **centriolen** (kleine cilindertjes van eiwitbuisjes) liggen. Aan het begin van de mitose, tijdens de **profase**, verdubbelt het centrosoom. Aan het eind van de profase spiraliseert het DNA. In de **prometafase** verdwijnt het kernmembraan. Elk centrosoom beweegt zich langzaam naar een kant van de cel, waarbij tussen de centrosomen **trekdraden** of microtubuli groeien. Deze microtubuli vormen een soort koepel om de chromosomen. Dit wordt de spoelfiguur of **kernspoel** genoemd.

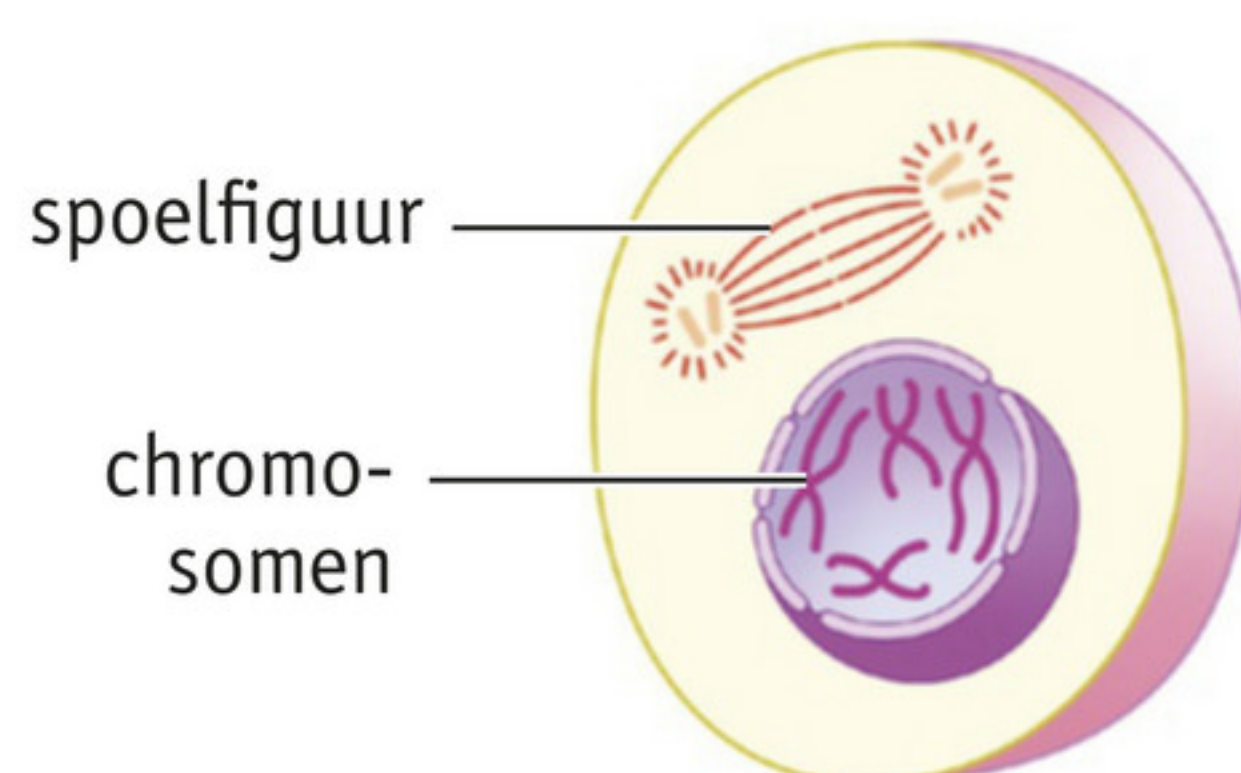
▼ Afb. 9 Mitose (schematisch).

interfase



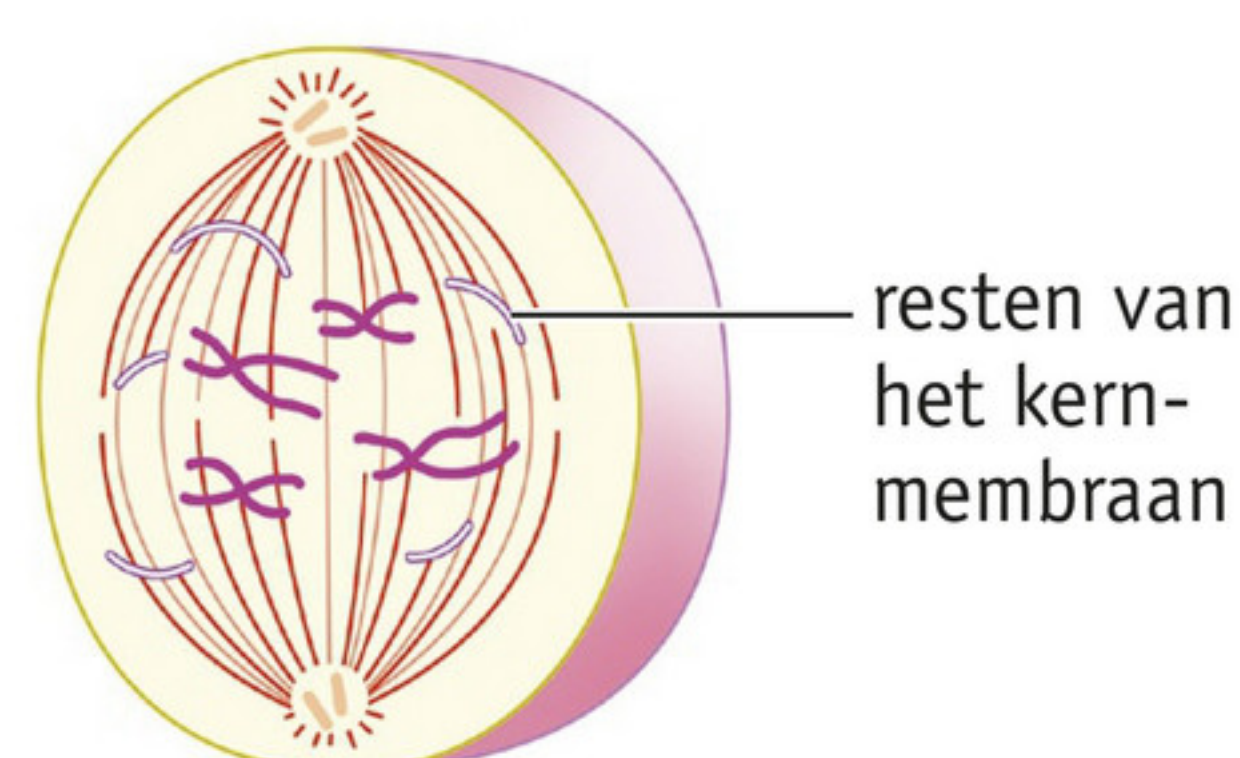
Tijdens de interfase zijn geen aparte chromosomen zichtbaar. Tijdens de interfase vindt verdubbeling van de chromosomen plaats.

mitose fase 1 (profase)



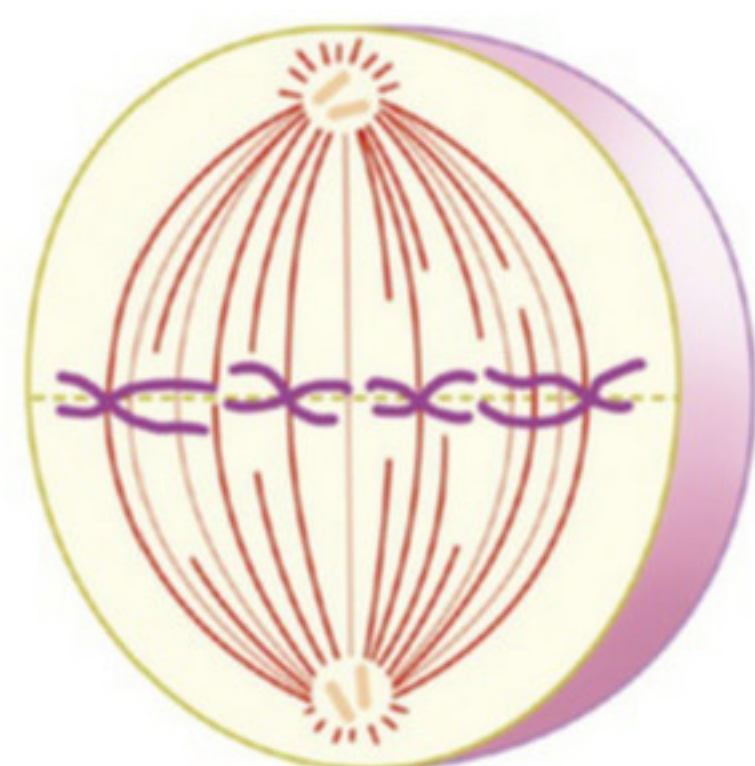
Het centrosoom is verdubbeld en elk centrosoom beweegt zich naar een kant van de cel. In de celkern worden de chromosomen zichtbaar. Te zien is dat elk chromosoom uit twee chromatiden bestaat.

mitose fase 2 (prometafase)



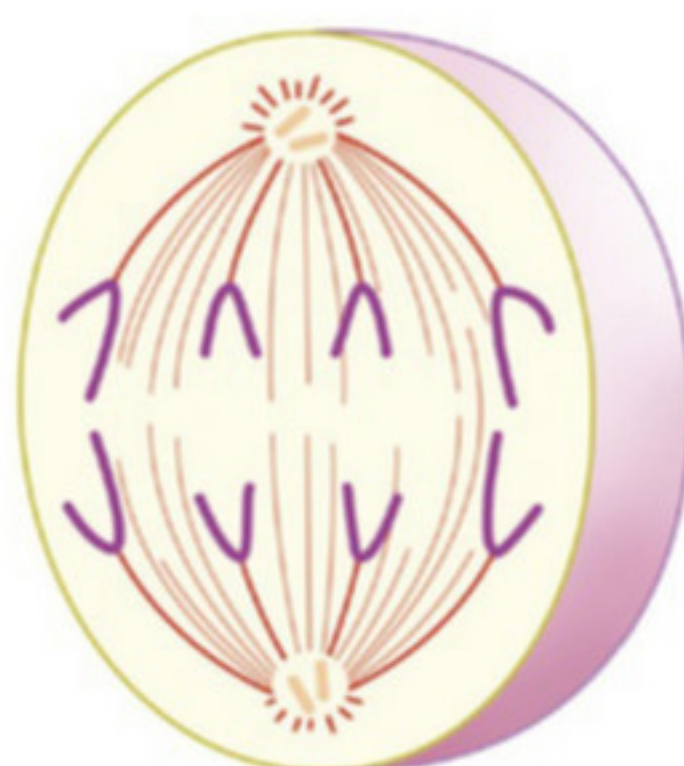
De centrosomen hebben een spoelfiguur van microtubuli gevormd. Het kernmembraan verdwijnt.

mitose fase 3 (metafase)



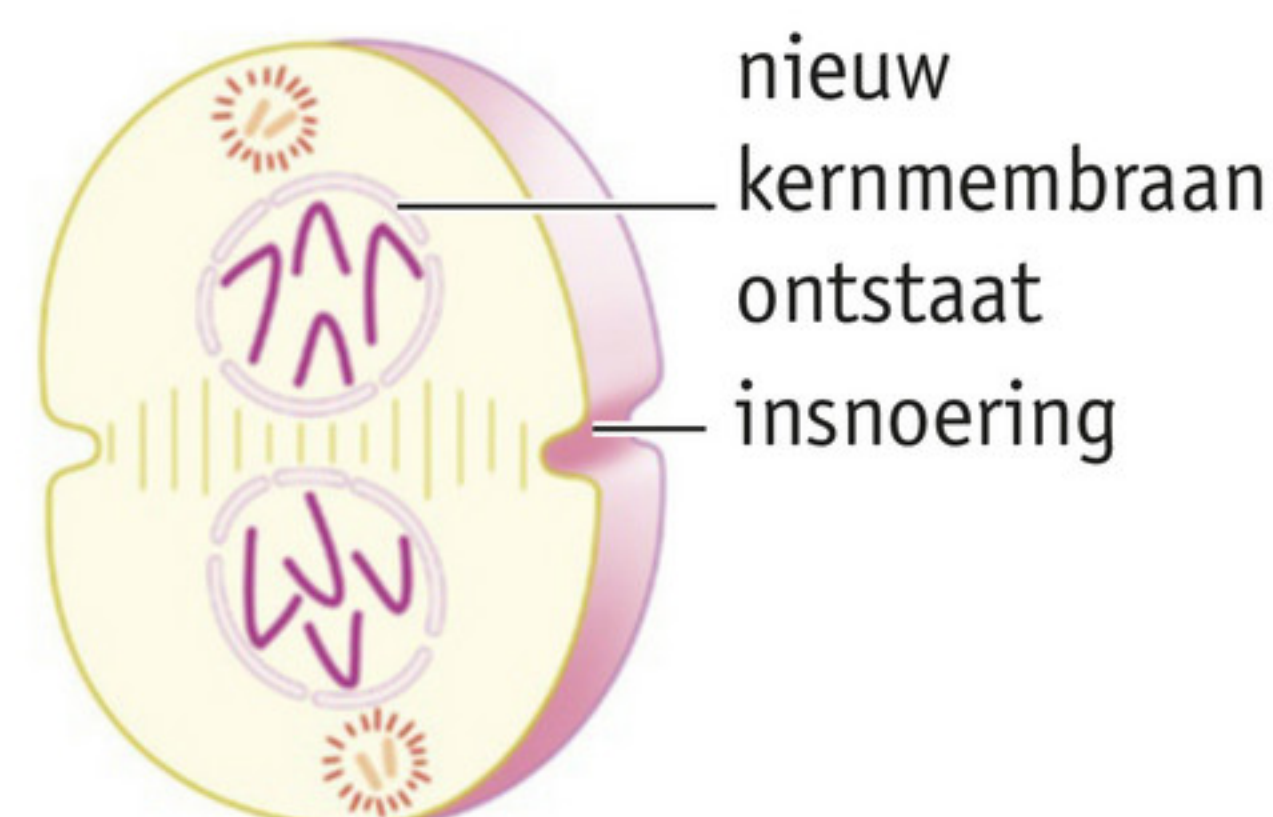
De chromosomen bevinden zich in een vlak tussen beide centrosomen. De microtubuli van de spoelfiguur hechten zich aan de centromeren van de chromosomen.

mitose fase 4 (anafase)



De chromatiden worden van elkaar getrokken. Van elk chromosoom wordt één chromatide naar een kant van de cel getrokken.

mitose fase 5 (telofase)



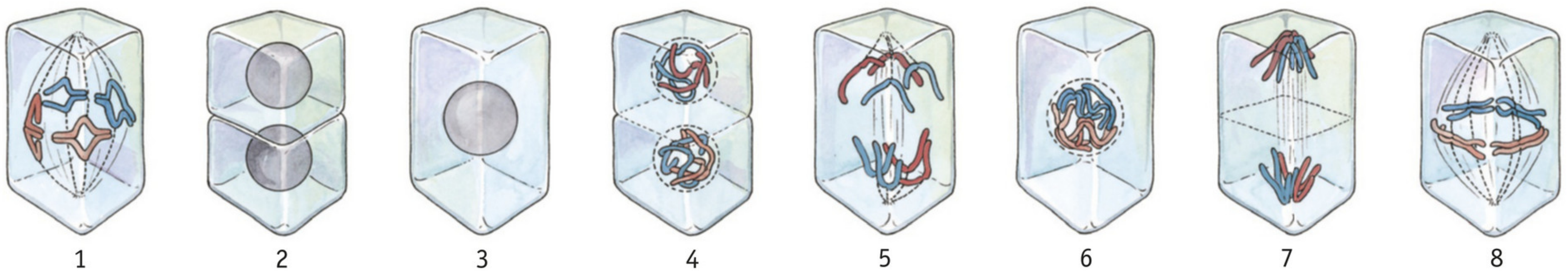
Om de chromosomen ontstaat een nieuw kernmembraan. De cel snoert zich tussen beide kernen in.

De chromosomen bevinden zich tijdens de **metafase** in een vlak tussen beide centrosomen. Een deel van de microtubuli hecht aan de centromeer van elk chromosoom. Vervolgens krimpen de microtubuli in de kernspoel, waardoor de beide chromatiden van elk chromosoom van elkaar af bewegen naar tegenovergestelde plaatsen in de cel. Dat gebeurt tijdens de **anafase**. Nu worden beide moleculen weer chromosoom genoemd. Tijdens de **telofase** vormt zich een nieuw kernmembraan en er ontstaan twee kernen. Doordat de chromosomen verdubbeld waren en daarna weer splitsten, bevat elke kern hetzelfde aantal chromosomen als de moedercel. Tot slot snoert de cel tussen beide kernen in en ontstaan twee cellen.

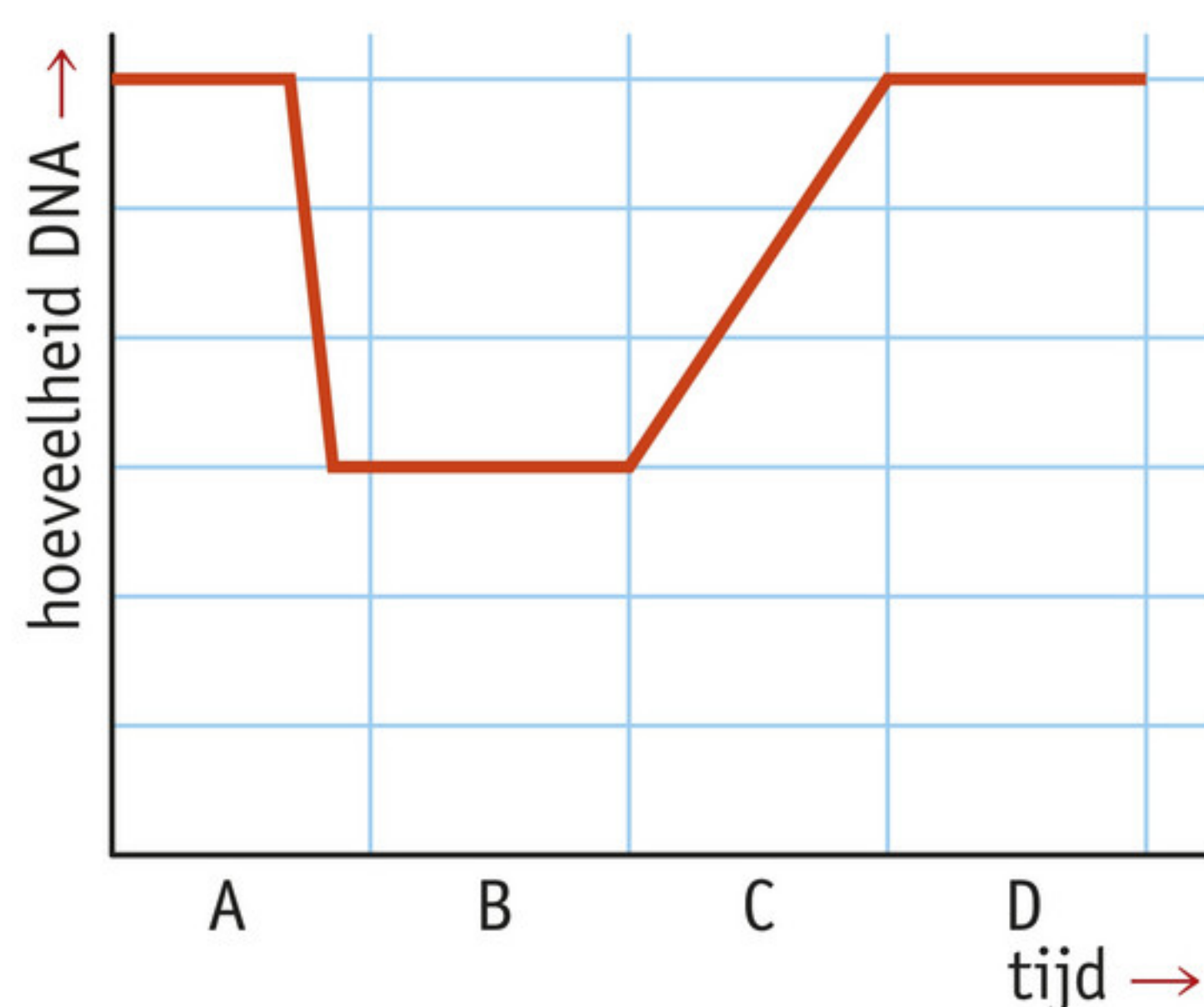
opdrachten

- 5 Een lichaamscel van de mens bevat 23 chromosomenparen. Hoeveel chromatiden bevat een menselijke cel tijdens de G_2 -fase?
- 6 In afbeelding 10 zijn fasen van mitose en celdeling schematisch getekend. De tekeningen staan in willekeurige volgorde. Noteer de juiste volgorde van de tekeningen.

▼ Afb. 10 Fasen van mitose en celdeling.



▼ Afb. 11 Hoeveelheid DNA.



- 7 a Een menselijke cel wordt in een laboratorium behandeld met chemicaliën die voorkomen dat de DNA-replicatie begint. In welke fase van de celcyclus blijft de cel door deze behandeling steken?
- b Tijdens een onderzoek is gedurende een celcyclus de hoeveelheid DNA in een cel gemeten. Het resultaat van dit onderzoek is in afbeelding 11 weergegeven. In het diagram zijn vier perioden aangegeven. Neem de letters over en schrijf achter elke letter met welke fase van de celcyclus deze periode overeenkomt.

KLONEN

Klonen wordt bij planten veel gebruikt om gunstige erfelijke eigenschappen te behouden, bijvoorbeeld bij sierbloemen of voedingsgewassen. Op kleinere schaal worden ook dieren gekloond, zoals varkens en schapen. Dat gebeurt in Europa bijvoorbeeld om menselijke ziekten te onderzoeken of medicijnen te testen. Niet iedereen is enthousiast over klonen. Tegenstanders vinden bijvoorbeeld dat de mens niet mag ingrijpen in de natuur, of dat dieren niet mogen worden gebruikt voor onderzoek. Dit zijn **ethische argumenten**. Anderen hebben bezwaren tegen klonen, omdat de dierlijke nakomelingen soms afwijkingen hebben of jong overlijden. Planten kunnen vatbaar zijn voor ziekten doordat ze genetisch identiek zijn. Dit zijn **biologische argumenten**.

▼ Afb. 12 Ook runderen worden gekloond.



Dieren kunnen kunstmatig worden gekloond door **embryosplitsing**. Daarbij wordt het klompje cellen dat na bevruchting ontstaat (het embryo) in tweeën of vieren gedeeld. Embryosplitsing wordt bijvoorbeeld toegepast bij runderen (zie afbeelding 12). Elk klompje cellen wordt in de baarmoeder van een koe geplaatst. Daar groeit het uit tot een kalf.

Een andere manier van klonen is **celkerntransplantatie** (somatic cell nucleus transfer, SCNT). Uit een donorkoe worden onbevruchte eicellen gehaald. Uit deze eicellen worden de kernen verwijderd. Vervolgens worden celkernen van een koe met heel goede erfelijke eigenschappen (een 'superkoe') ingebracht in de 'lege' eicellen van de donorkoe. Uit de eicellen met een nieuwe kern ontwikkelen zich klompjes cellen. Deze worden geïmplant in draagkoeien en groeien daar uit tot kalveren.

opdrachten

- 8 Voor kerntransplantatie heb je een superkoe, een donorkoe en draagkoeien nodig.
- a Welke van deze koeien levert (leveren) een bijdrage aan de erfelijke eigenschappen van de kalveren?
 - b Hebben de kalveren die ontstaan na embryosplitsing dezelfde erfelijke eigenschappen als de (biologische) moederkoe die de eikel leverde? Leg je antwoord uit.
 - c Hebben de kalveren die ontstaan bij kerntransplantatie allemaal hetzelfde geslacht of kunnen ze van geslacht verschillen? Leg je antwoord uit.
- 9 Sommige mensen hebben bezwaren tegen klonen. Ze kunnen daarvoor ethische en/of biologische argumenten hebben. Noteer bij elk van de volgende bezwaren of het een biologisch of een ethisch argument is. Leg telkens je antwoord uit.
- a Bij klonen van dieren is het gevaar van een miskraam groot.
 - b Je mag dierlijke organismen niet als een product behandelen.
 - c Veel gekloonde dieren hebben gezondheidsproblemen.

CONTEXT

Leefwereld

- ▼ **Afb. 13** Chinese veehouders kunnen nauwelijks voldoen aan de vraag naar vlees.



Kloonfabriek

Een snelgroeiend biotechnologiebedrijf in China bouwde in 2016 een enorme kloonfabriek. Daar gaan ze jaarlijks meer dan een miljoen snuffelhonden, renpaarden en koeien produceren. ‘Chinese veehouders kunnen nauwelijks voldoen aan de vraag naar vlees. We zetten de embryo’s in voor commercieel gebruik, maar werken ook aan verbetering van de verschillende rassen,’ zegt Xu Xiaochun, directeur van BoyaLife. Naast het klonen van dieren voor commercieel gebruik willen de Chinezen er ook panda’s en andere bedreigde diersoorten klonen.

Het klonen van dieren gebeurt al langer. In 1996 kwam het schaap Dolly ter wereld, het eerste zoogdier dat was gekloond uit een lichaamscel van een volwassen dier. Op 6-jarige leeftijd werd ze geëuthanaseerd vanwege een ernstige longziekte. Hierna zijn nog veel andere dieren gekloond, vooral voor wetenschappelijk onderzoek.

opdracht

- 10 a Noteer een biologische reden waarom het klonen van bedreigde diersoorten een goed idee zou zijn.
- b Noteer een ethische reden waarom het klonen van bedreigde diersoorten geen goed idee zou zijn.
 - c Zou jij je huisdier willen laten klonen? Geef een beargumenteerde mening.

Leerdoelen

- Je kunt uitleggen hoe door meiose geslachtscellen ontstaan en hoe bevruchting verloopt.
- Je kunt de delen en werking van het voortplantingsstelsel van de mens beschrijven.

2 Geslachtelijke voortplanting

Geslachtelijke voortplanting heeft heel wat om handen: er is een ander individu voor nodig, beide organismen moeten vruchtbaar zijn en ook op celniveau zijn er voorbereidingen noodzakelijk.

CELFUSIE

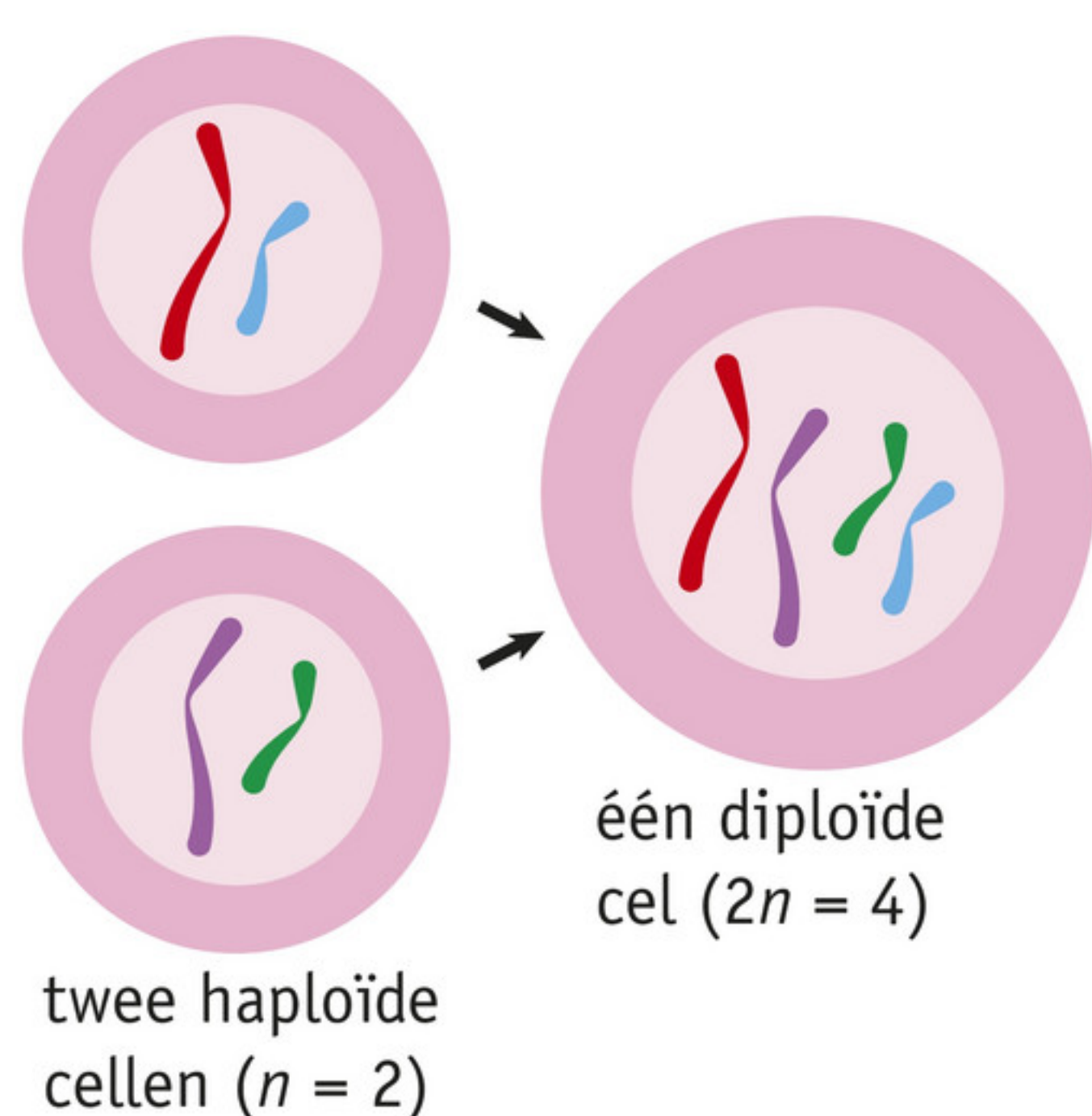
Een kenmerk van **geslachtelijke voortplanting** is de versmelting van twee cellen: de zogenoemde celfusie. Door celfusie komt de inhoud van twee cellen samen, dus ook beide kernen. De nieuwe cel heeft daardoor informatie van beide cellen en het dubbele aantal chromosomen.

Het aantal chromosomen in de cellen van een organisme is constant en verandert niet door geslachtelijke voortplanting. Om het aantal chromosomen constant te houden, vindt op enig moment in de levenscyclus een reductie van het aantal chromosomen plaats. Bij mensen en veel andere meercellige organismen vindt deze reductie plaats tijdens de productie van **gameten** of **geslachtscellen**. Alle andere cellen in het lichaam die niet tot de geslachtscellen behoren, worden **somatische cellen** genoemd.

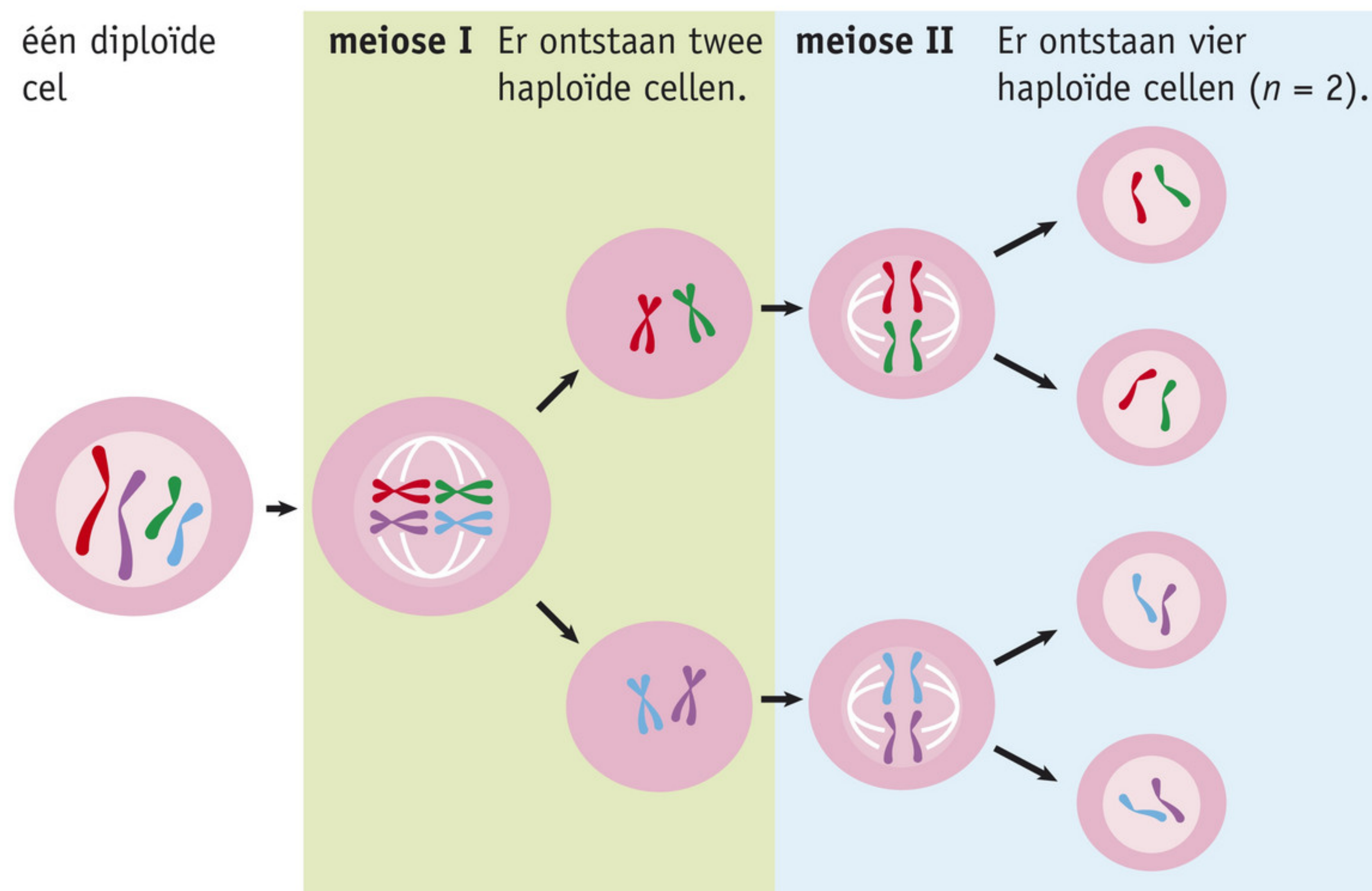
MEIOSE

Tijdens de **bevruchting** fuseren twee gameten. Gameten zijn **haploïde cellen**: elke gameet bevat één volledige set chromosomen. Het aantal chromosomen in een haploïde cel wordt weergegeven met de letter 'n'. Een bevruchte eicel ofwel zygote bevat twee volledige sets chromosomen; het zijn **diploïde** (= tweevoudige) **cellen**. Elk chromosoom komt twee keer voor. Dit wordt aangegeven met '2n' (zie afbeelding 14). Alle somatische cellen zijn diploïd.

▼ **Afb. 14** Bevruchting (schematisch, $n = 2$).

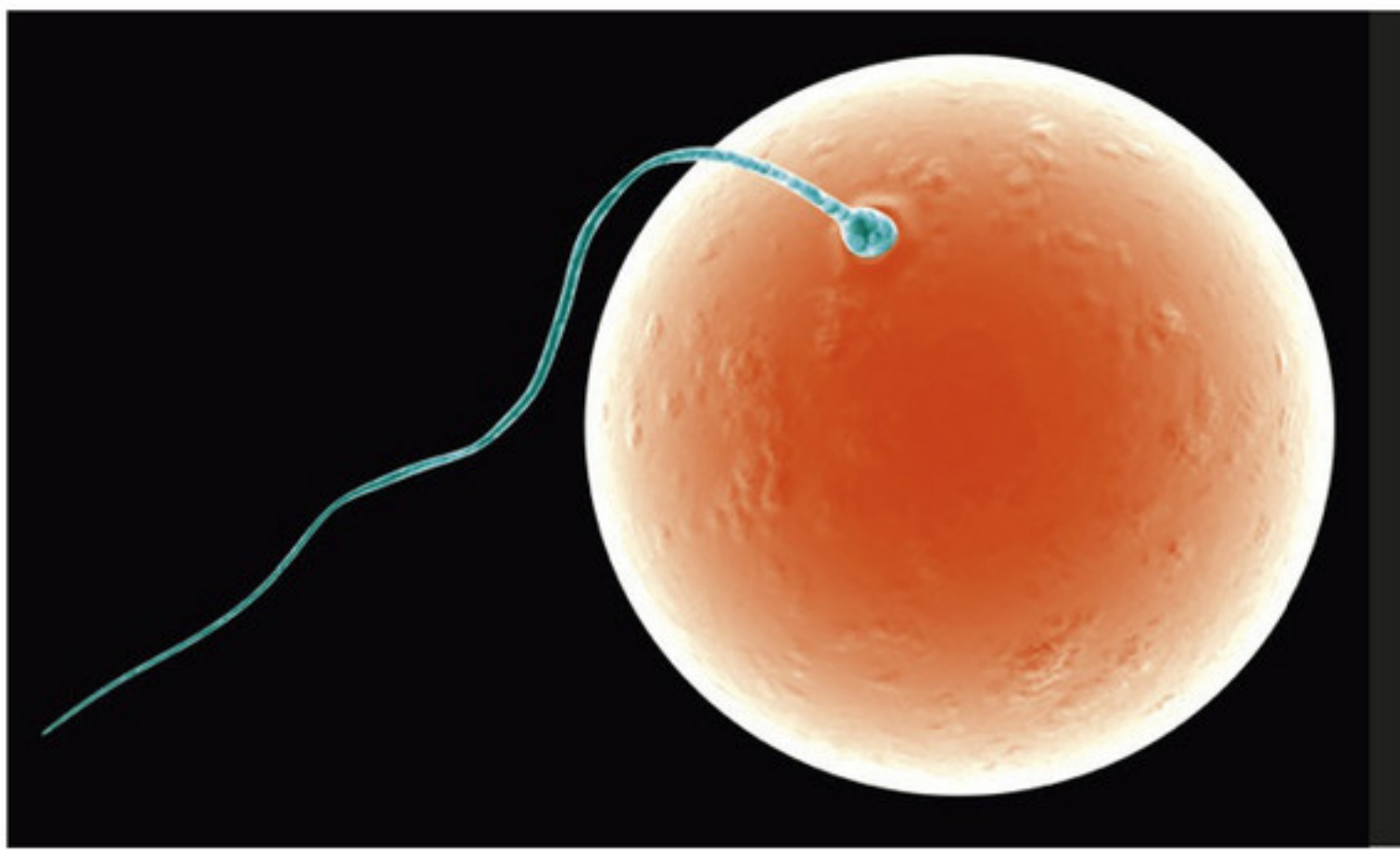


▼ **Afb. 15** Meiose (schematisch, $2n=4$).



Organismen die zich geslachtelijk voortplanten, hebben speciale organen die voortplantingscellen maken. Bij mensen zijn dit bij mannen de testes (teelballen) en bij vrouwen de ovaria (eierstokken). Hier ontstaan uit diploïde moedercellen haploïde dochtercellen. Het proces waarbij het aantal chromosomen van een cel wordt gereduceerd, wordt **reductiedeling** of **meiose** genoemd. De meiose bestaat uit twee opeenvolgende delingen: **meiose I** en **meiose II**. Tijdens meiose I deelt één diploïde cel zich in twee haploïde cellen. Door meiose II ontstaan uit deze twee haploïde cellen vier haploïde dochtercellen (zie afbeelding 15). Deze cellen kunnen zich ontwikkelen tot gameten.

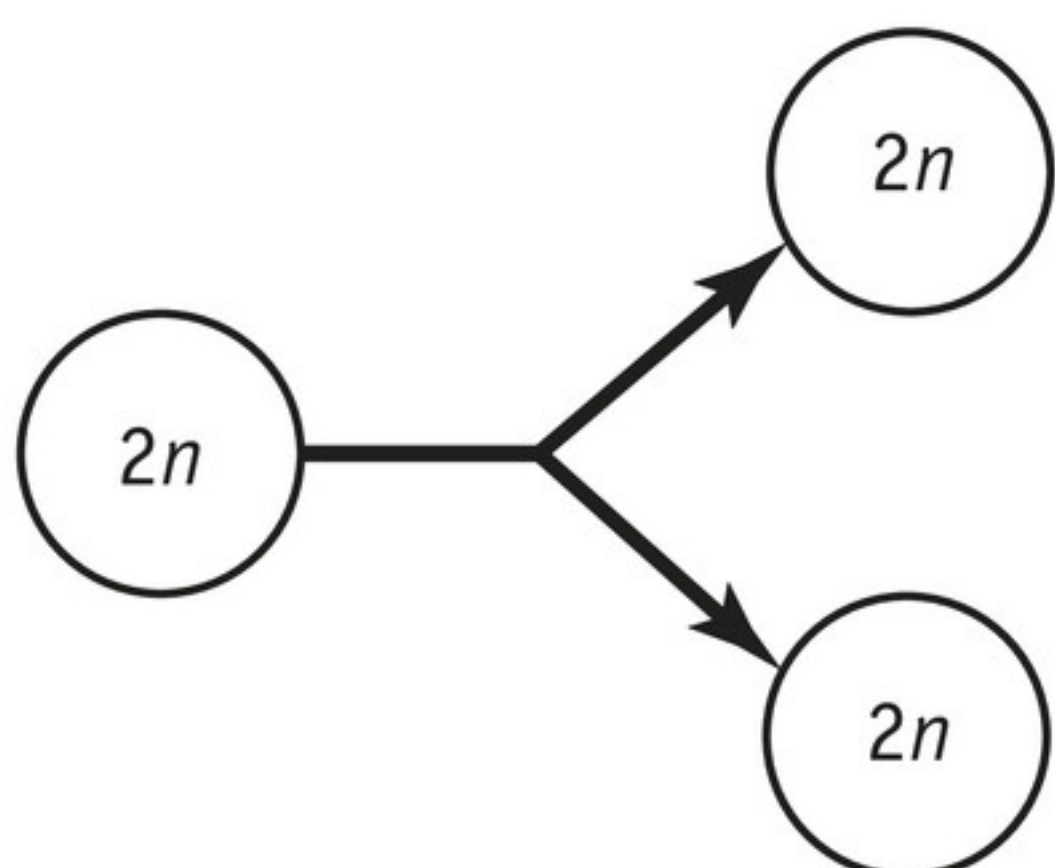
- ▼ **Afb. 16** Een zaadcel bevrucht een eikel (SEM).



- ▼ **Afb. 17** Het aantal chromosomen per cel bij verschillende soorten.

Soort	Aantal chromosomen per celkern
Fruitvlieg	8
Erwt	14
Rijst	24
Gist	32
Kat	38
Mens	46
Chimpansee	48
Gorilla	48
Olifant	56
Rund	60
Ezel	62
Paard	64
Hond	78
Heremietkreeft	254

- ▼ **Afb. 18** Mitose (schematisch).



Bij veel organismen zijn de mannelijke en vrouwelijke geslachtscellen niet gelijk. Een vrouwelijke **eikel** (oöcyt) is bijvoorbeeld veel groter dan de mannelijke **zaadcel** (spermatozoön). De zaadcel heeft een zweepstaart waarmee hij kan bewegen (zie afbeelding 16).

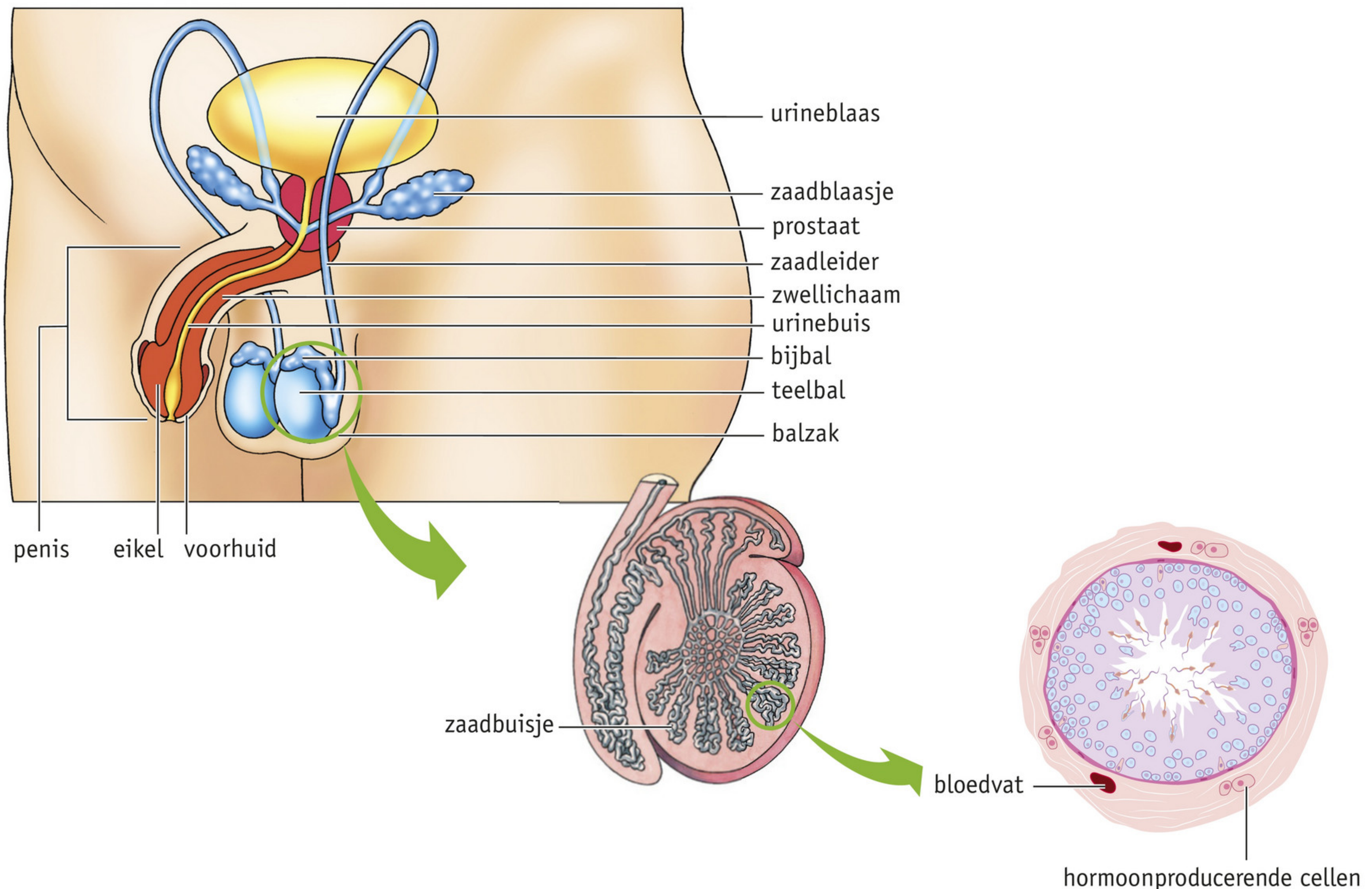
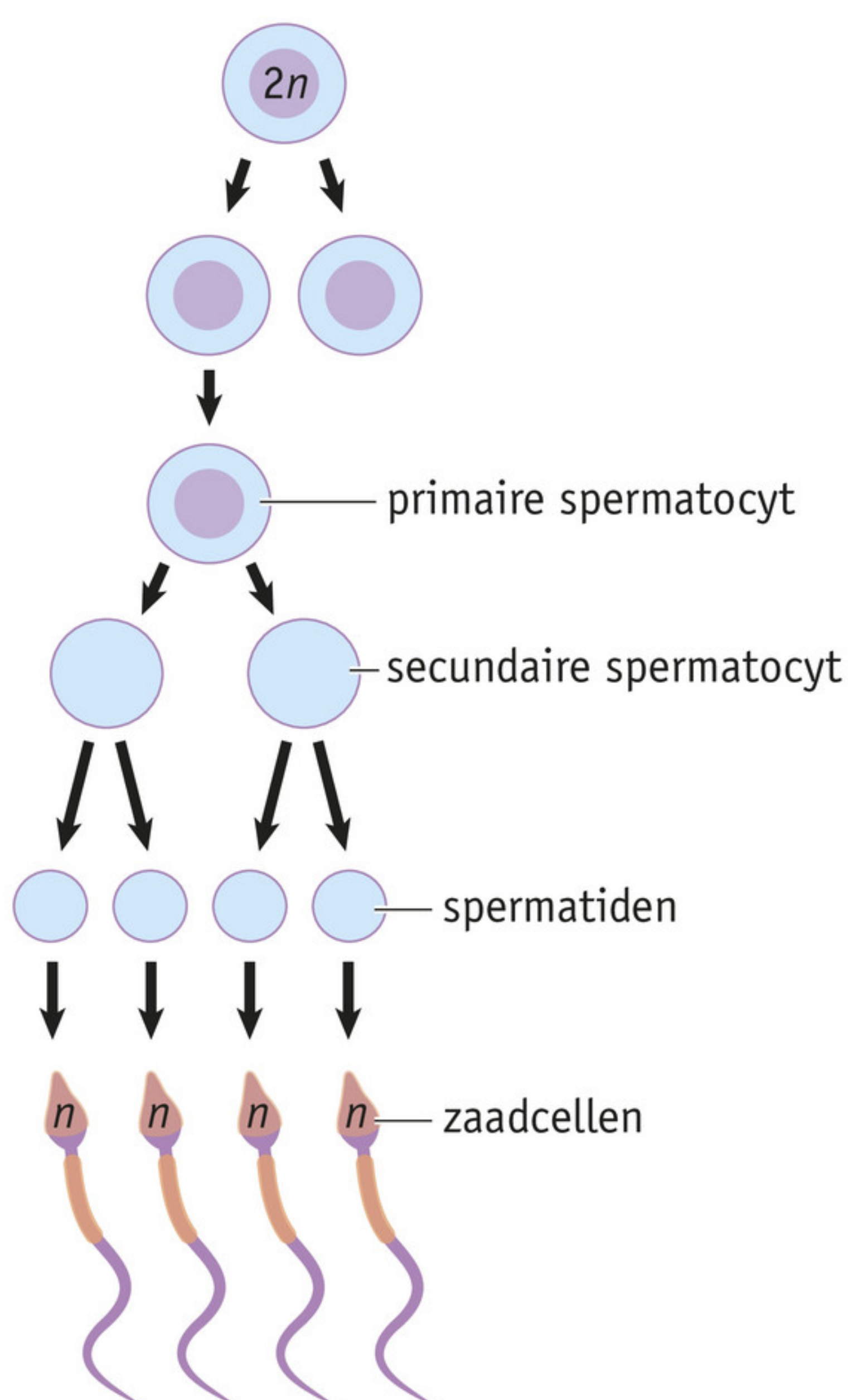
opdrachten

- 11** Hoewel er organismen bestaan met heel grote aantallen chromosomen, ligt voor de meeste organismen dit aantal toch ruim onder de honderd (zie afbeelding 17).
- Hoeveel chromosomen bevat een cel in de huid van een mens?
 - Hoeveel chromosomen bevat een zaadcel van een mens?
 - Een bepaalde cel van een huiskat bevat 19 chromosomen. Is deze cel een lichaamscel of een geslachtscel? Leg je antwoord uit.
 - Een onderzoeker bekijkt weefsel van een paard. Hij ontdekt dat in het weefsel cellen met 32 chromosomen voorkomen. Kan dit weefsel afkomstig zijn van de lever van het paard? Leg je antwoord uit.
 - Beredeneer aan de hand van afbeelding 17 of het aantal chromosomen per celkern is gerelateerd aan intelligentie.
 - Dieren die aan elkaar verwant zijn, hebben een gemeenschappelijke voorouder. Zou er op basis van afbeelding 17 een relatie kunnen zijn tussen het chromosoomaantal en verwantschap? Leg je antwoord uit.
 - Afbeelding 17 geeft geen uitsluitsel over het bestaan van een verband tussen verwantschap en het aantal chromosomen. Leg dat uit.
- 12** Tijdens mitose ontstaan uit één lichaamscel twee lichaamscellen. In afbeelding 18 is dit schematisch weergegeven. In elke cel is het aantal chromosomen aangegeven met $2n$.
- Geef op dezelfde manier meiose I en meiose II schematisch weer.
 - Je kunt de mitose met het volgende schema weergeven: $2n \rightarrow 2n + 2n$. Geef de meiose in eenzelfde schema weer.
 - De cellen die tijdens mitose ontstaan, zijn genetisch identiek aan de moedercel (ze bevatten dezelfde erfelijke informatie). Zijn de cellen die bij meiose ontstaan ook genetisch identiek aan de moedercel? Leg je antwoord uit.

ZAADCELLEN

Bij mensen ontstaan zaadcellen in de **testes** (enkelvoud: testis) of teelballen. De testes bevatten sterk gekronkelde zaadbuisjes (zie afbeelding 19). Aan de binnenkant van deze buisjes liggen cellen die zich delen: de 'zaadcel-moedercellen'. Hieruit ontwikkelen zich zaadcellen (spermatozoa, enkelvoud spermatozoön). De vorming van zaadcellen heet **spermatogenese**.

De zaadbuisjes lopen door tot in de bijballen, die op de testes liggen. De zaadcellen komen in de bijballen terecht, waar ze tijdelijk worden opgeslagen. De testes en de bijballen liggen in een huidplooï buiten het lichaam. Onder de huid liggen spieren waardoor de testes dicht tegen het lichaam kunnen worden aangetrokken.

▼ **Afb. 19** Het mannelijk voortplantingsstelsel.▼ **Afb. 20** Spermatogenese bij mensen (schematisch).

Door seksuele opwinding wordt de penis stijf. De zwellichamen vullen zich dan met bloed. Door verdere prikkeling van de eikel krijgt een man een orgasme en heeft hij een zaadlozing (ejaculatie). De zaadcellen gaan dan via de zaadleider vanaf de bijballen naar de urinebuis. De zaadblaasjes en de prostaat voegen vocht toe. Dit vocht bevat verschillende stoffen, waaronder eiwitten en energierijke stoffen. Het vocht met de zaadcellen heet nu sperma.

Sperma is een beetje basisch, waardoor het milieu van de vagina na een zaadlozing minder zuur is. Hierdoor blijven zaadcellen langer in leven. Buiten het lichaam gaan zaadcellen na ongeveer vijf minuten dood. In het lichaam van een vrouw leven ze meestal zo'n 24 tot 48 uur, maar sommige zaadcellen overleven wel tot vijf dagen.

opdrachten

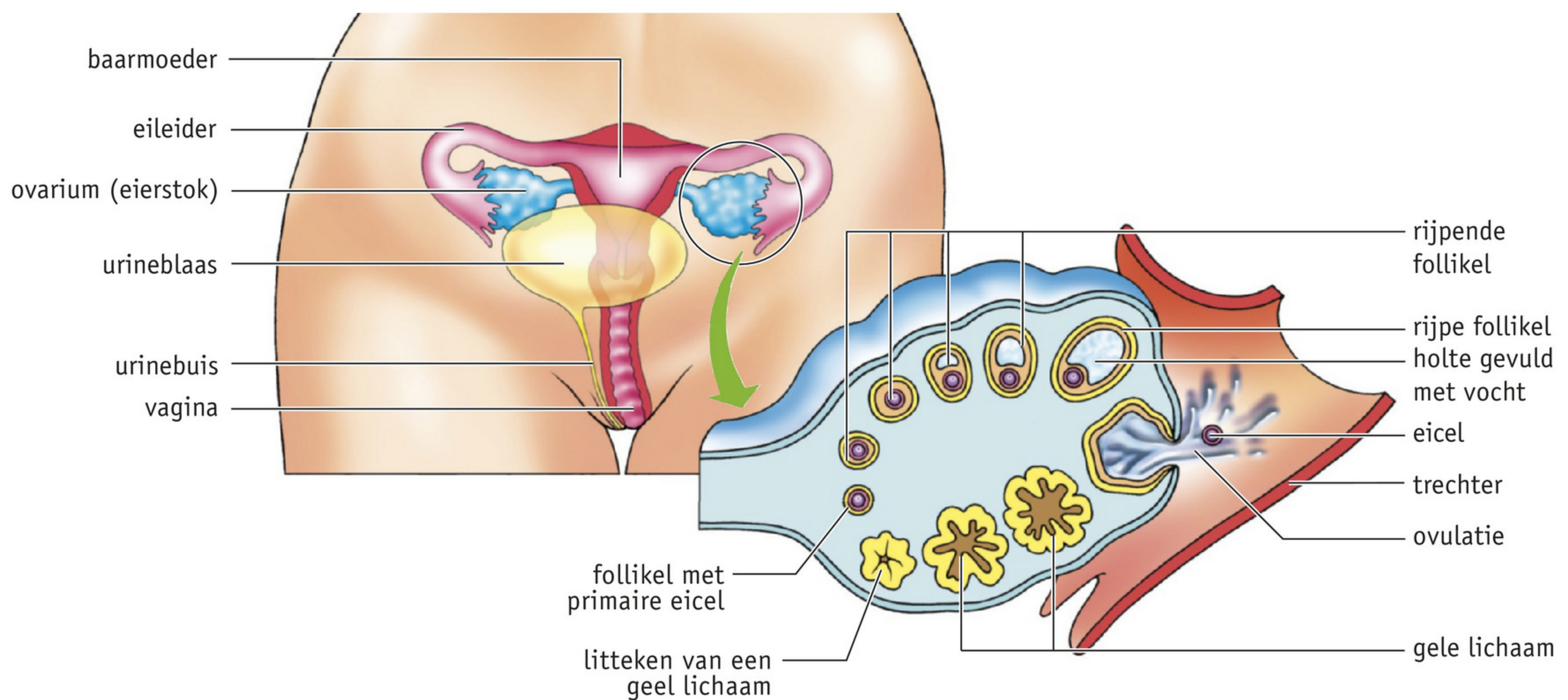
- 13 In afbeelding 20 is de spermatogenese bij mensen schematisch weer-
gegeven.
 - a Welke van deze cellen is (zijn) door mitose ontstaan?
 - b Hoeveel chromosomen bevatten een primaire spermatocyt, een secundaire spermatocyt en een spermatide?
- 14 Vocht uit de zaadblaasjes bevat onder andere een suiker: fructose. Uit fructose kan net als uit glucose energie worden vrijgemaakt. Zaadcellen bevatten relatief veel mitochondriën. Leg het verband uit tussen de fructose in sperma, het relatief grote aantal mitochondriën in zaadcellen en de beweeglijkheid van zaadcellen.

EICELLEN

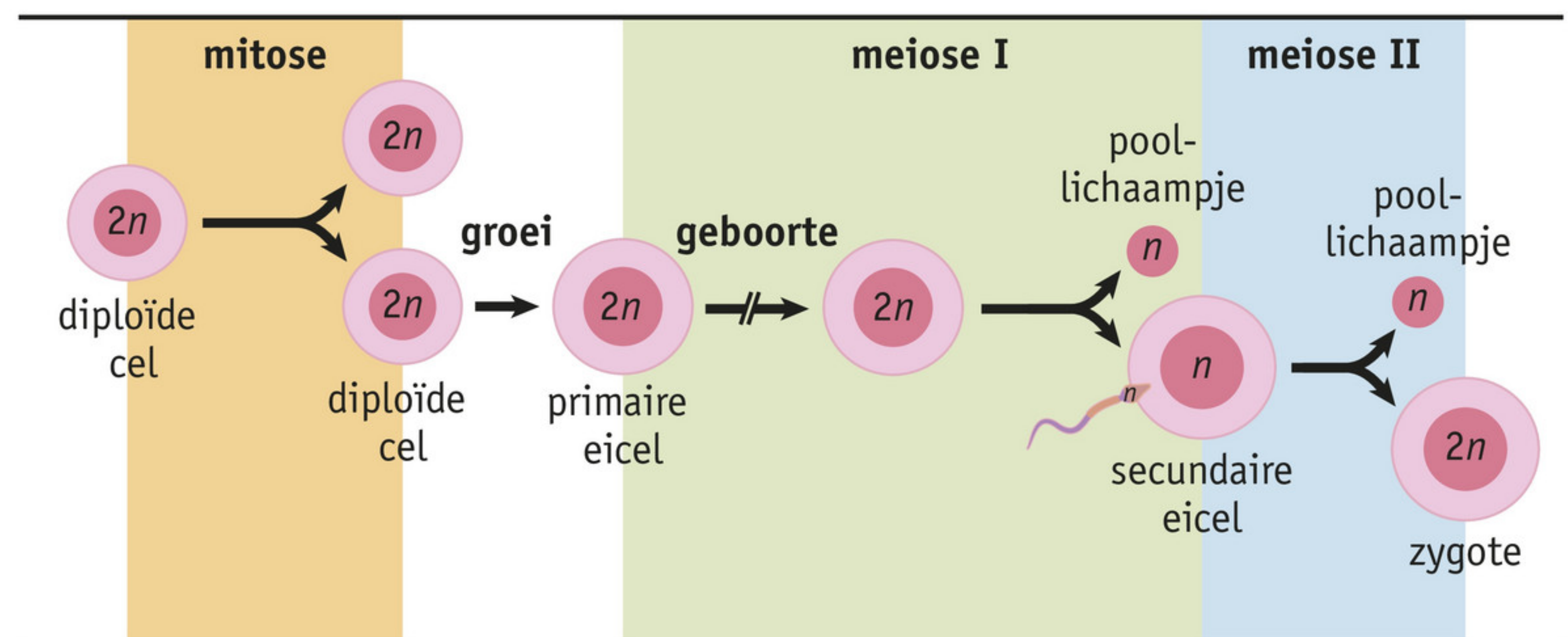
Eicellen ontstaan bij de mens in de **ovaria** (eierstokken) van een vrouw. Het ontstaan van eicellen uit een eicelmoeder cel heet **oögenese**. Als een meisje wordt geboren, bevinden zich in de ovaria enkele miljoenen cellen waaruit zich alle eicellen zullen ontwikkelen. Deze primaire eicellen bevinden zich in het beginstadium van de meiose en zijn op dat moment nog diploïd.

Elke eicel is omgeven door een blaasje. Het blaasje met de eicel heet **follikel**. Vanaf de puberteit ontwikkelen deze follikels zich verder. De follikel groeit en neemt vocht op (zie afbeelding 21). Op dat moment gaat de eicel verder met de meiose. De eicel, die ondertussen al flink is gegroeid, deelt ongelijk in twee haploïde cellen: een kleine cel met vrijwel geen cytoplasma en een grote eicel. De kleine cel wordt **poollichaampje** genoemd (zie afbeelding 22). De follikel is nu groot en puilt uit het ovarium. Na het openbarsten van de follikel verlaat de eicel het ovarium.

▼ **Afb. 21** Het vrouwelijk voortplantingsstelsel.



► **Afb. 22** Oögenese (schematisch).

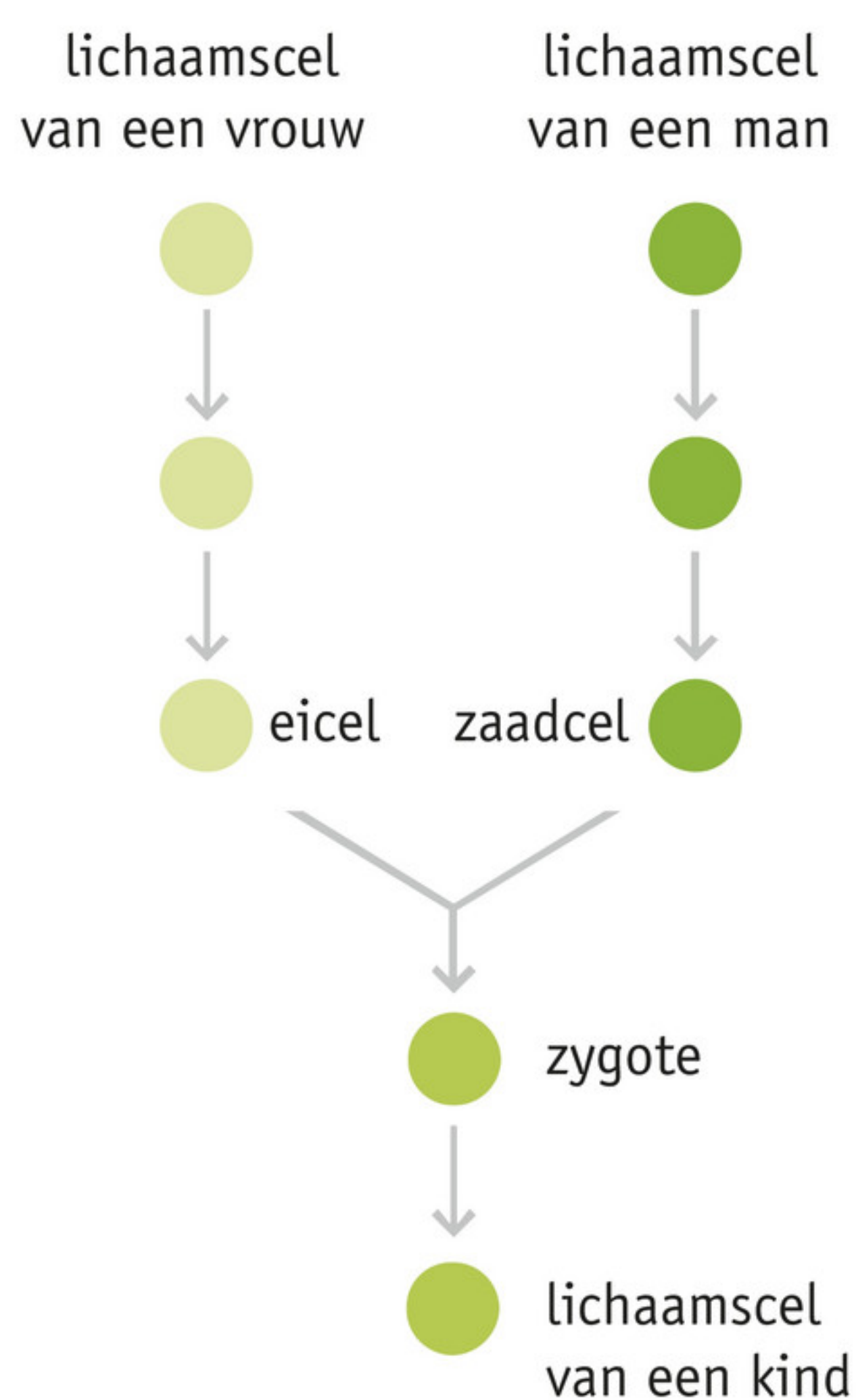


Dit is de **ovulatie** (eisprong). De eikel komt in het trechtervormige uiteinde van de eileider. Bewegingen van trilharen en spierbewegingen van de eileider vervoeren de eikel in de richting van de baarmoeder. De eikel bevindt zich nu halverwege meiose II en wordt de secundaire eikel genoemd.

Na de ovulatie blijven eicellen 12 tot 24 uur in leven. Als in deze periode geen bevruchting plaatsvindt, sterft de eikel af. Als er wel een zaadcel binnendringt, wordt meiose II afgerond, waarbij opnieuw een poollichaampje ontstaat en al het cytoplasma in de bevruchte eikel blijft.

opdrachten

▼ **Afb. 23** Voortplanting bij de mens (schematisch).



15 In afbeelding 23 is de voortplanting bij de mens schematisch weergegeven. Elke cirkel stelt een cel voor.

Neem de afbeelding over.

a Noteer bij de juiste pijlen: *bevruchting* – *meiose I* (2×) – *meiose II* (2×) – *mitose*.

b Noteer in elke cel of deze 23 (*n*) chromosomen bevat of 46 (*2n*).

c Noteer bij elke cel of deze diploïd is of haploïd.

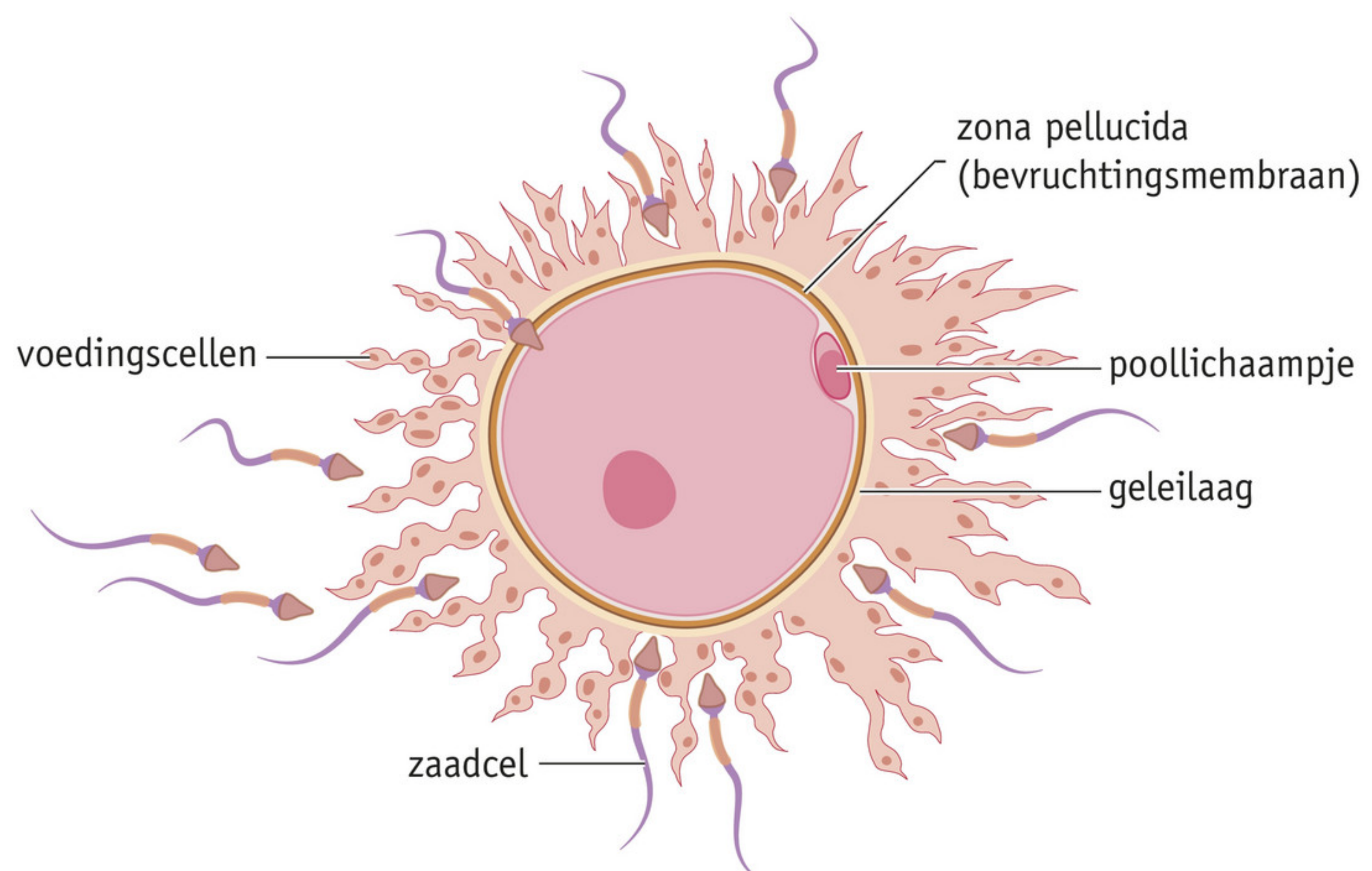
16 Leg uit hoeveel 'bruikbare' cellen er na meiose II bij de man en de vrouw zijn als je spermatogenese en oögenese vergelijkt.

BEVRUCHTING

De vagina is geen geschikte omgeving voor zaadcellen. Ondanks het licht basische spermavocht dat de zaadcellen enigszins beschermt, gaan er veel dood. Toch lukt het vaak een deel van de zaadcellen de baarmoedermond te bereiken en vandaar via de baarmoeder naar de eileiders te zwemmen. Als in een eileider een eikel aanwezig is, kan bevruchting plaatsvinden.

De eikel is omgeven door voedingscellen, een geleachtige laag en een laag die de zona pellucida wordt genoemd (zie afbeelding 24). Eiwitten uit de kop van de zaadcel maken een gat in de geleilaag, waarna een herkenningsreactie plaatsvindt tussen moleculen op het membraan van de kop van de zaadcel en moleculen in de zona pellucida. Vervolgens bindt de kop van de zaadcel aan het celmembraan van de eikel en komt de kern van de zaadcel in het cytoplasma van de eikel. Nu vindt bevruchting plaats.

► **Afb. 24** Bevruchting bij de mens.



Na het binnendringen van de zaadcel wordt de zona pellucida ondoordringbaar voor andere zaadcellen. Deze ondoordringbare laag heet het bevruchtingsmembraan. Dit membraan voorkomt dat meerdere zaadcellen een eikel bevruchten.

opdrachten

- 17 Noteer twee obstakels die zaadcellen tegenkomen tijdens hun reis naar een eikel.
- 18 Polyspermie is het binnendringen van een eikel door meerdere zaadcellen. Wat zijn de gevolgen van polyspermie bij de mens?

CONTEXT

Leefwereld

- ▼ **Afb. 25** Een kruising tussen een zebra en een paard.



Vreemde kruisingen

Een ezelin kan drachtig worden van een paard. Er ontstaat dan een muilezel. Omgekeerd kan een merrie drachtig worden van een mannetjeszezel. Deze nakomeling heet muildier. Muildieren en muilezels zijn niet vruchtbaar. Als oorzaak voor de onvruchtbaarheid wordt meestal verwezen naar het aantal chromosomen.

In safaripark Holte-Stukenbrock in Duitsland heeft begin deze eeuw een zebra een jong gekregen van een paard (zie afbeelding 25). De zebra werd bevrucht tijdens een uitstapje naar een ranch in Italië waar behalve zebra's ook een handvol paarden rondliep.

Kruisingen tussen soorten leiden tot geen of onvruchtbare nakomelingen doordat chromosomen niet compatibel zijn. Ook andere mechanismen zorgen daarvoor, bijvoorbeeld doordat het eiwit in de geleilaag om de eikel tussen beide soorten verschilt.

opdracht

- 19 Zie afbeelding 17.
 - a Welk aantal chromosomen verwacht je in cellen van een muilezel en een muildier aan te treffen? Licht je antwoord toe.
 - b Tijdens welke fase van de meiose treedt er bij muilezels en muildieren een probleem op in verband met het aantal chromosomen in de cellen?
 - c De kruising van een paard met een zebra heeft een opvallend vachtpatroon (zie afbeelding 25).
Leg uit of dit kan komen doordat in de cellen van de kop en het achterlijf alleen chromosomen van de ezel zitten, terwijl in de cellen van de borst en voorpoten alleen chromosomen van het paard zitten.
 - d In de Verenigde Staten heeft men voor de vleesindustrie een bizon met een koe gekruist: de beefaloo. Het vlees zou beter zijn.
Bevatten zaadcellen van een stier eiwitten om de geleimantel van de eicellen van een vrouwelijke bizon te breken? Leg je antwoord uit.

Leerdoel

- Je kunt de werking van de hormoonklieren en hormonale regeling van de voortplanting van de mens beschrijven en toelichten.

3 Hormonen

Tijdens de puberteit gieren de hormonen door je lijf. Het zorgt voor vlinders in je buik, maar het kan ook een prikkelbaar gevoel geven of agressiviteit veroorzaken.

GESLACHTSHORMONEN

Hormoonklieren geven sappen af aan het bloed, dit zijn hormonen. Hormonen zijn signaalstoffen die de werking van het lichaam regelen. **Geslachtshormonen** regelen verschillende aspecten van de voortplanting. Ze zorgen bijvoorbeeld voor het ontstaan van secundaire geslachtskenmerken, stimuleren de productie van zaadcellen en regelen de menstruatiecyclus. Ook hebben ze invloed op hoe iemand zich voelt.

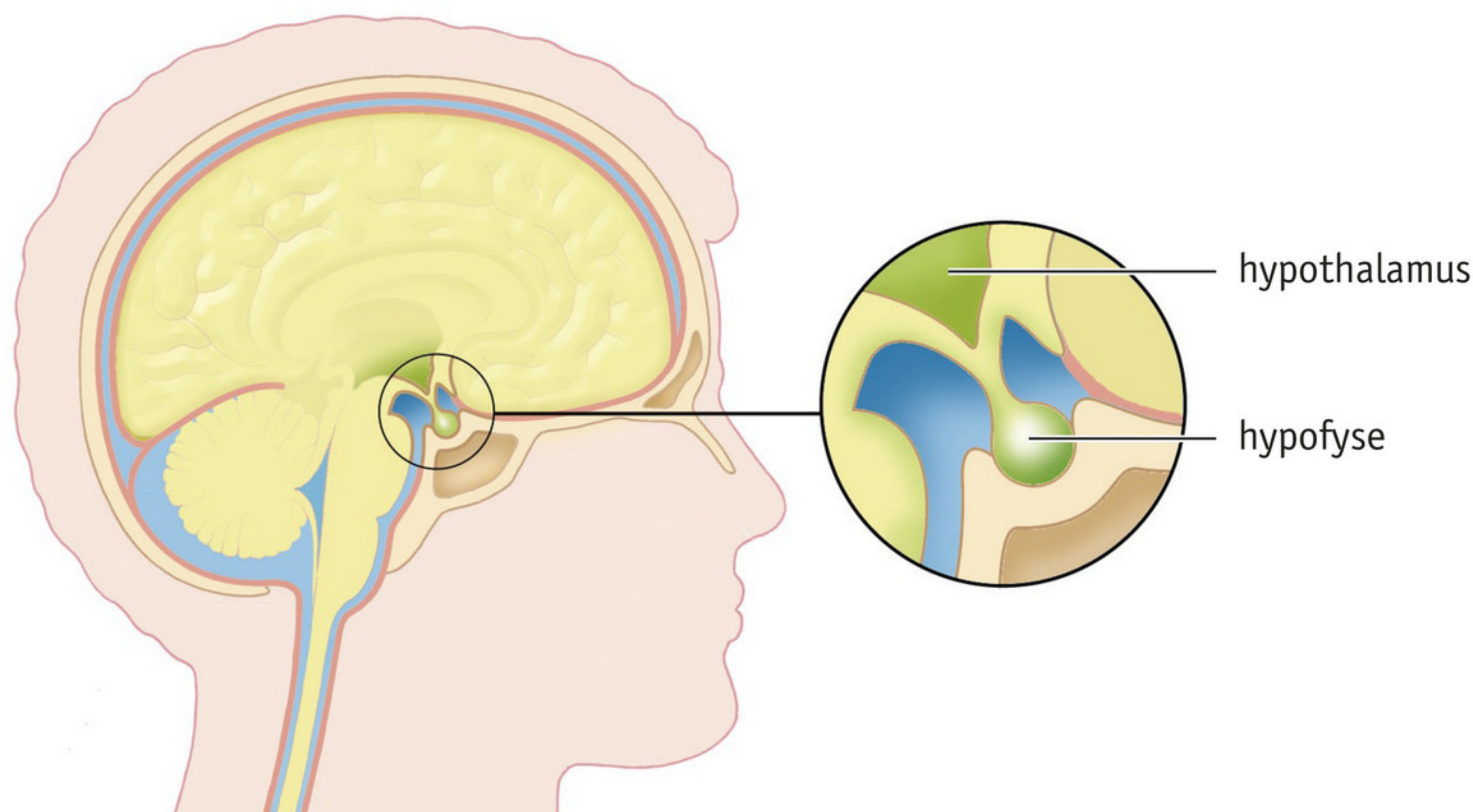
Bij mannen is de concentratie geslachtshormonen vanaf hun puberteit vrij constant. Bij vrouwen verandert de concentratie van verschillende hormonen tijdens de menstruatie, rond de eisprong, tijdens de zwangerschap, na een bevalling en tijdens de overgang. Sommige vrouwen hebben erg veel last van de wisselende concentraties hormonen. Ze kunnen allerlei klachten hebben, zoals pijnlijke borsten of een opgeblazen gevoel, en zich prikkelbaar, depressief of zelfs agressief voelen. Wanneer deze klachten regelmatig in de dagen voor de menstruatie optreden, kan een vrouw PMS (premenstrueel syndroom) hebben.

HYPOFYSE EN HYPOTHALAMUS

De **hypofyse** is een hormoonklier die ongeveer in het midden van je hoofd ligt, direct onder de hersenen (zie afbeelding 26). De hypofyse geeft onder andere stimulerende hormonen af die andere hormoonklieren beïnvloeden. In de puberteit maakt het lichaam zich klaar voor reproductie en gaat de hypofyse geslachtshormonen maken.

Bij veel hormonen die de hypofyse afgeeft, speelt de **hypothalamus** een belangrijke rol. De hypothalamus is een deel van de hersenen dat direct boven de hypofyse ligt. Hij werkt als een regelcentrum. De hypothalamus geeft releasing hormonen (RH) af. Een releasing hormoon stimuleert de hypofyse bepaalde hormonen te maken, zoals het **follikelstimulerend hormoon (FSH)** en het **luteïniserend hormoon (LH)**. Bij de voortplanting spelen deze twee hormonen een grote rol. Ze regelen onder andere de productie van geslachtshormonen in de testes en de ovaria.

► **Afb. 26** Overzicht hypofyse en hypothalamus in de hersenen.



REGELING BIJ DE MAN

Tijdens de puberteit komt bij jongens de productie van zaadcellen op gang. Onder invloed van het releasing hormoon GnRH (gonadotropine releasing hormoon) uit de hypothalamus maakt de hypofyse de hormonen FSH en LH:

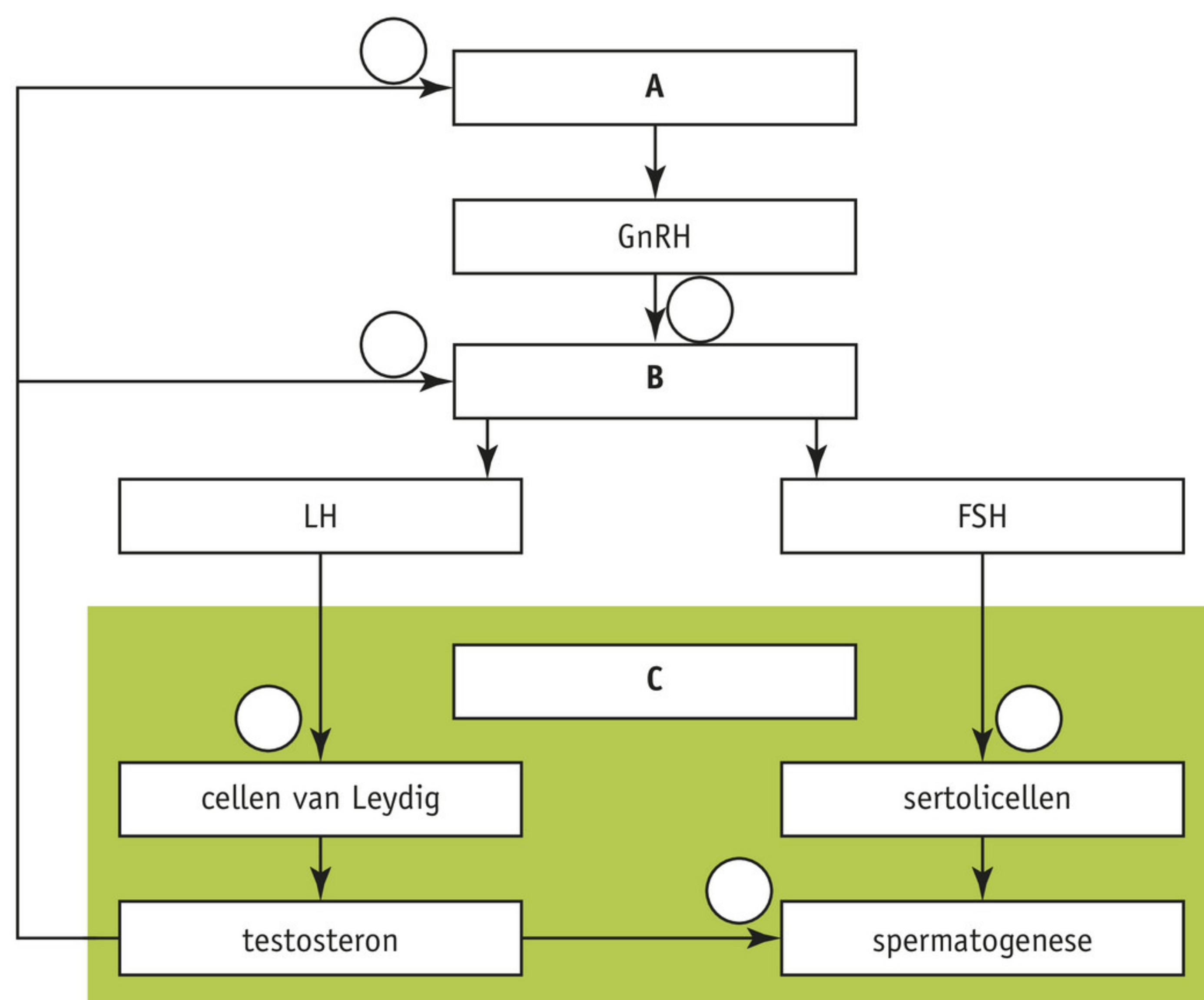
- FSH stimuleert de sertolicellen in de wand van de zaadbuisjes. Sertolicellen stimuleren op hun beurt de vorming van zaadcellen.
- LH stimuleert de cellen van Leydig in de testes om testosteron te produceren.

Tijdens de puberteit stijgt de concentratie van het geslachtshormoon **testosteron**, waardoor de secundaire geslachtskenmerken ontstaan. Testosteron stimuleert ook de productie van zaadcellen. Bij een bepaalde testosteronconcentratie remt testosteron de aanmaak van GnRH, FSH en LH. Hierdoor daalt de testosteronconcentratie in het bloed.

opdracht

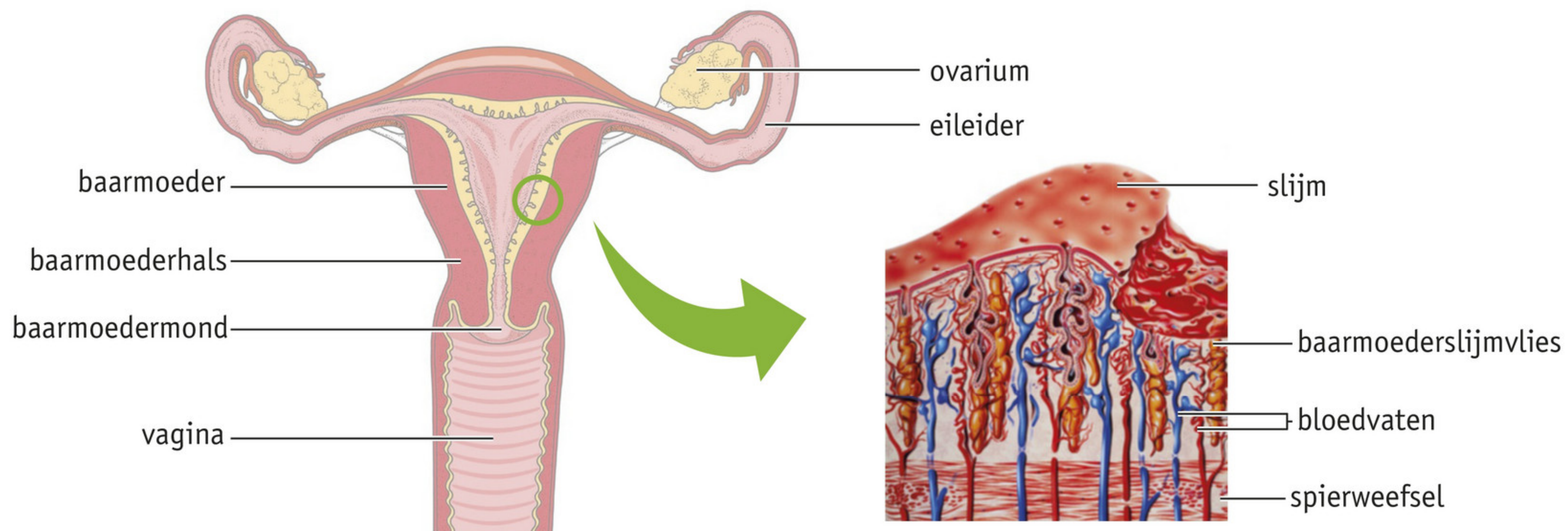
- 20** In afbeelding 27 is de hormonale regeling van de testes schematisch weergegeven. In het schema zijn de namen van organen vervangen door de letters A, B en C en staan er bij de pijltjes rondjes. Neem het schema over en vul het in. Gebruik bij deze opdracht je *BiNaS* (tabel 89C). Let op: ICSH is een andere naam voor LH.
- Vervang de letters A, B en C door de namen van organen.
 - Noteer in de rondjes bij de pijlen een '+' als het hormoon een proces stimuleert en een '-' als het hormoon een proces remt.

► **Afb. 27** Hormonale regeling van de testes (schematisch).



REGELING BIJ DE VROUW

Tijdens de puberteit krijgen meisjes hun eerste menstruatie (ongesteldheid). Kenmerkend voor de menstruatie is bloedverlies dat ongeveer maandelijks optreedt. De binnenkant van de baarmoeder is bekleed met een slijmvlies: het baarmoederslijmvlies. De baarmoeder bestaat verder uit spierweefsel (zie afbeelding 28). In het baarmoederslijmvlies bevinden zich veel kleine bloedvaatjes. Tijdens de menstruatie wordt een deel van het baarmoederslijmvlies afgestoten. Hierbij gaat een aantal bloedvaatjes stuk, waardoor bloedverlies optreedt.

▼ **Afb. 28** De baarmoeder.

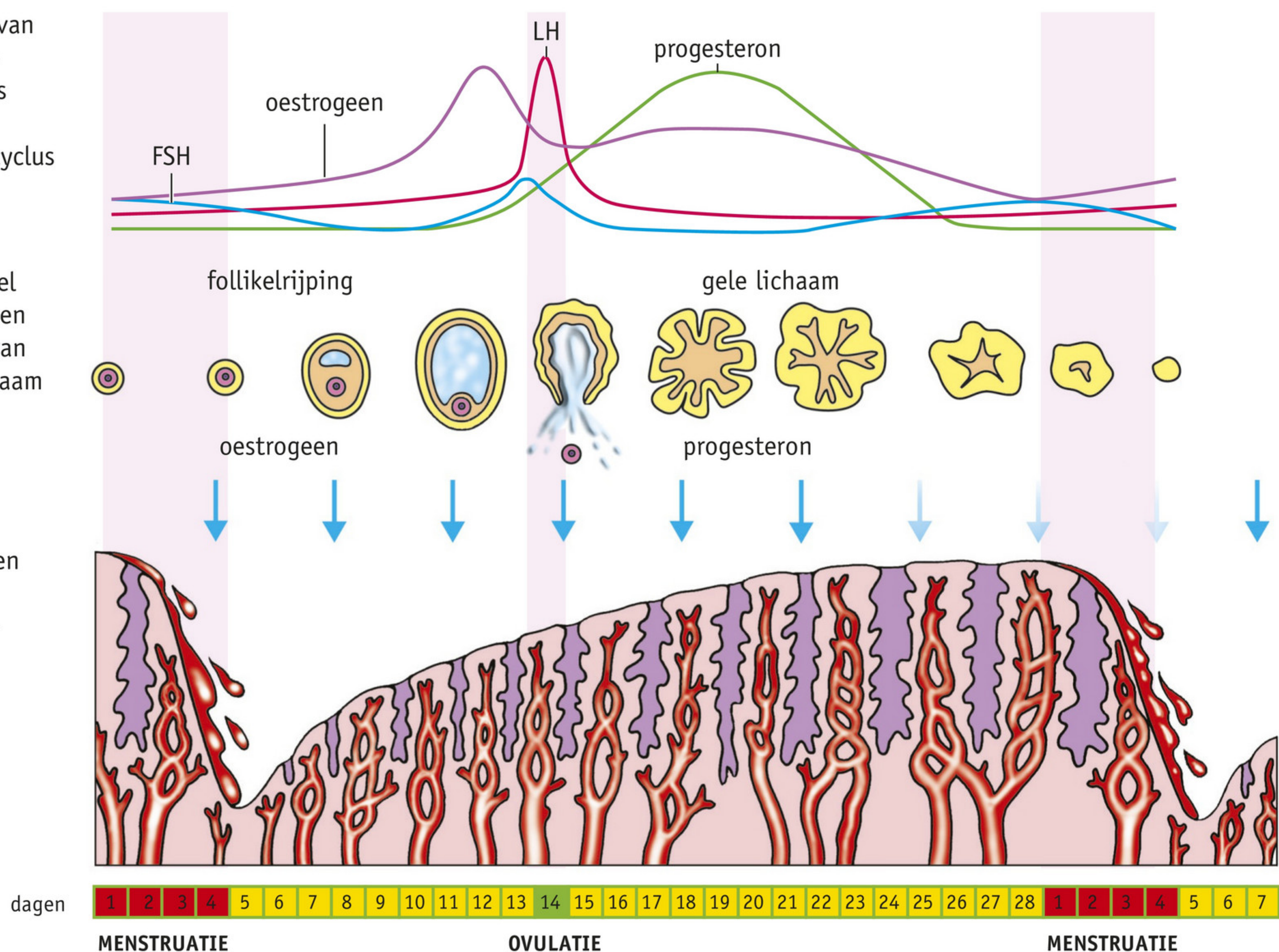
Elke maand wordt het baarmoederslijmvlies opgebouwd en weer afgestoten, tenminste als een vrouw niet zwanger raakt. Deze **menstruatiecyclus** duurt gemiddeld 28 dagen (zie afbeelding 29). De eerste dag van de menstruatie is het begin van de menstruatiecyclus. De eerste twaalf dagen van de menstruatiecyclus produceert de hypofyse FSH en LH. FSH stimuleert de rijping van follikels in de ovaria. Onder invloed van FSH en LH produceren cellen uit de wand van de rijpende follikels **oestrogenen**. Oestrogenen zijn geslachtshormonen die er onder andere voor zorgen dat het baarmoederslijmvlies dikker wordt en meer klieren gaat bevatten. Zo wordt de baarmoeder voorbereid op de innesteling van een embryo.

▼ **Afb. 29** Het verband tussen de hormonen, processen in een ovarium en het baarmoederslijmvlies (schematisch).

verandering van de hormoonconcentraties tijdens de menstruatiecyclus

rijping follikel en ontstaan en verdwijnen van het gele lichaam

veranderingen van het baarmoederslijmvlies



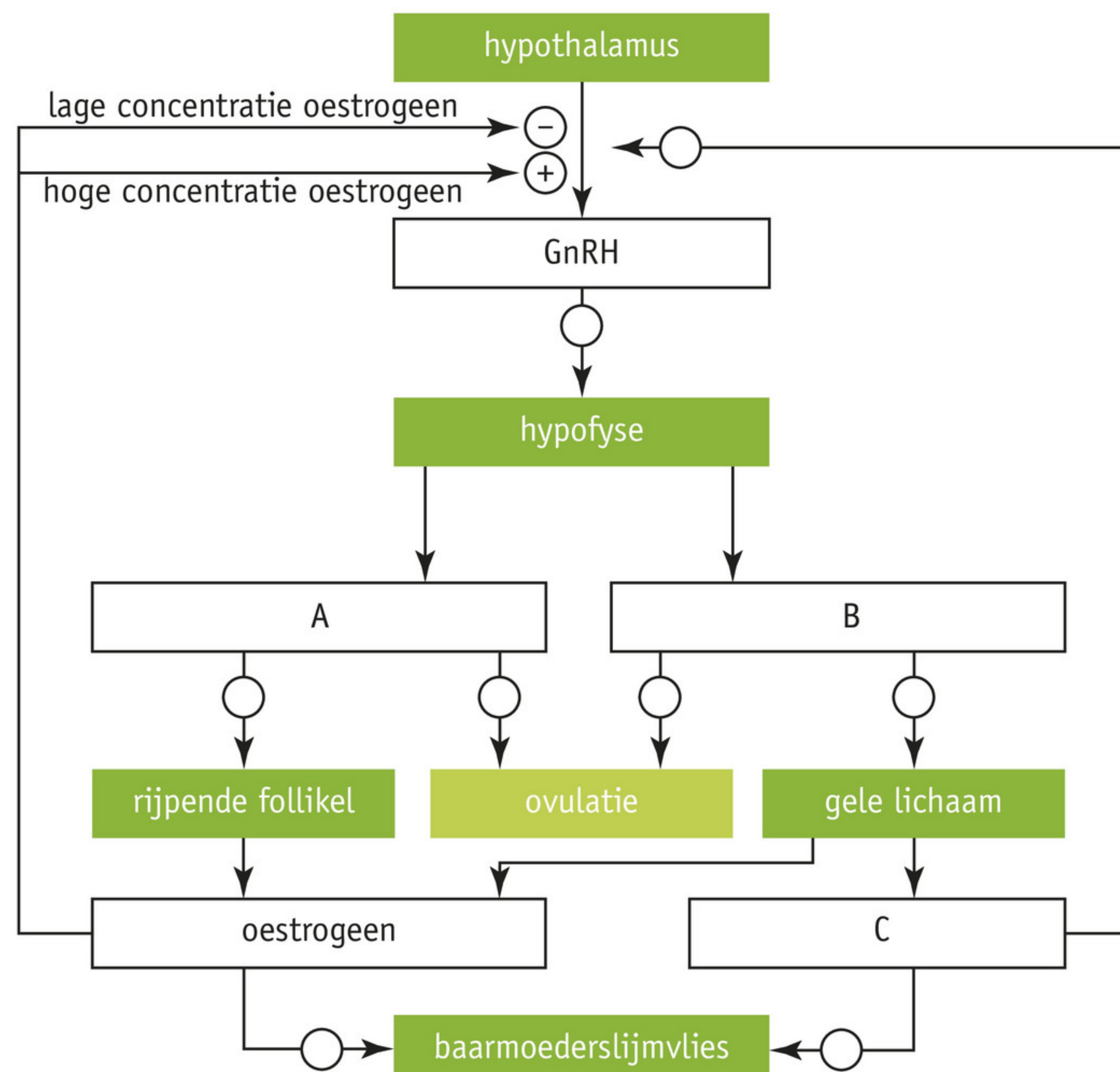
In de ovaria rijpt een van de follikels het snelst. De follikels die minder snel rijpen, sterven af. De productie van oestrogenen door de rijpende follikel bereikt een hoogtepunt. Dit stimuleert de hypofyse tot afgifte van veel LH. De hoge concentratie LH in het bloed stimuleert de opname van vocht door de rijpende follikel, waardoor deze openbarst en er een eikel vrijkomt: dit is de ovulatie. Er zijn nu twee mogelijkheden: er vindt wel of geen bevruchting plaats. Als er binnen een dag geen bevruchting plaatsvindt, sterft de eikel af en verdwijnt.

Na de ovulatie stimuleert LH uit het follikelweefsel dat in het ovarium is achtergebleven, de vorming van het **gele lichaam**. In het Latijn heet het gele lichaam *corpus luteum* (*corpus* = lichaam, *luteum* = geel), vandaar de naam luteïniserend hormoon. LH stimuleert ook de productie van oestrogenen en het geslachtshormoon **progesteron** door het gele lichaam. Door progesteron wordt het baarmoederslijmvlies nog dikker. Progesteron remt de afgifte van FSH en LH door de hypofyse. Door gebrek aan LH wordt het gele lichaam kleiner en verdwijnt uiteindelijk. Door het kleiner worden van het gele lichaam daalt ook de concentratie progesteron in het bloed. Het baarmoederslijmvlies wordt dan niet meer in stand gehouden en de menstruatie komt op gang.

opdrachten

- 21** In afbeelding 30 is de hormonale regeling van de menstruatiecyclus schematisch weergegeven. In het schema ontbreken drie hormonen en op sommige plaatsen staan in de pijlen rondjes. Neem het schema over en maak het af.
- Vervang de letters A, B en C door de namen van de hormonen.
 - Noteer in de rondjes een '+' als het hormoon een proces stimuleert en een '-' als het hormoon een proces remt.

► **Afb. 30** De hormonale regeling van de menstruatiecyclus (schematisch).



22 Een vrouw heeft in haar agenda aangegeven wanneer ze de laatste keer menstrueerde (zie afbeelding 31). Ze menstrueert erg regelmatig, om de vier weken. Deze vrouw wil graag zwanger worden.

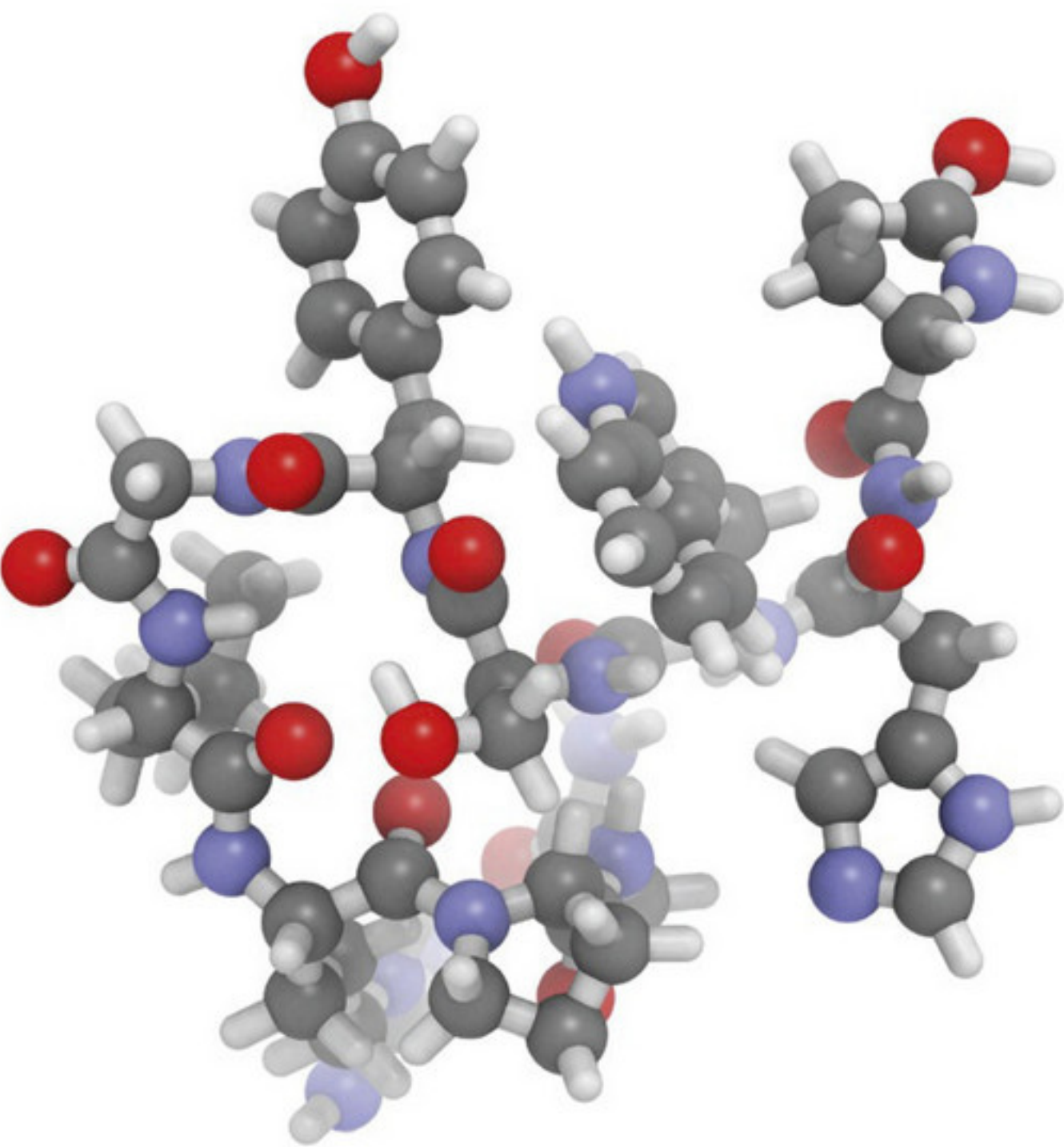
► Afb. 31 Pagina uit agenda.

J A A R K A L E N D E R																
	JANUARI					FEBRUARI					MAART					
week	1	2	3	4	5	5	6	7	8	9	9	10	11	12	13	14
ma		5	12	19	26		2	9	16	23		2	9	16	23	30
di		6	13	20	27		3	10	17	24		3	10	17	24	31
wo		7	14	21	28		4	11	18	25		4	11	18	25	
do	1	8	15	22	29		5	12	19	26		5	12	19	26	
vr	2	9	16	23	30		6	13	20	27		6	13	20	27	
za	3	10	17	24	31		7	14	21	28		7	14	21	28	
zo	4	11	18	25		1	8	15	22		1	8	15	22	29	

- a Op welke dagen is de kans het grootst dat geslachtsgemeenschap leidt tot zwangerschap? Leg je antwoord uit.
- b Welke veranderingen in de ovaria vinden er bij deze vrouw plaats in week 4 (19 tot en met 25 januari)?
- c Drie dagen in de menstruatiecyclus van deze vrouw zijn 18 januari, 25 januari en 31 januari. Deze vrouw raakt niet zwanger. Op welke van deze dagen is dan de concentratie progesteron in het bloed het hoogst? Gebruik bij deze opdracht je *BiNaS* (tabel 86C).
- d Waarom is het van belang dat er tijdens een zwangerschap geen menstruatie plaatsvindt?

CONTEXT Wetenschap

▼ Afb. 32 Chemische structuur van het hormoon GnRH.



Geen puberteit

Mensen met de ziekte IHH (idiopathisch hypogonadotroop hypogonadisme) komen niet in de puberteit. Ze krijgen geen secundaire geslachtskenmerken en zijn onvruchtbaar. Bij een deel van deze patiënten is de oorzaak een mutatie in een gen dat verantwoordelijk is voor het receptoreiwit van het hormoon GnRH (zie afbeelding 32). GnRH-receptoreiwitten bevinden zich in celmembranen. Als GnRH bindt aan het receptoreiwit, vindt in de cel een reactie plaats, waardoor de cel uiteindelijk hormonen afgeeft. Door de mutatie bindt bij IHH-patiënten GnRH niet of minder goed aan het eiwit. IHH is tegenwoordig goed te behandelen met onder andere hormonen.

opdrachten

- 23 In welk orgaan bevinden zich cellen met veel GnRH-receptoreiwitten in het celmembraan?
- 24 Meisjes met IHH hebben in hun bloed een erg lage oestrogeenconcentratie. Leg uit hoe IHH een lage oestrogeenconcentratie veroorzaakt.

Leerdoelen

- Je kunt de ontwikkeling van zygote tot volgroeide baby toelichten.
- Je kunt fasen van de geboorte toelichten.

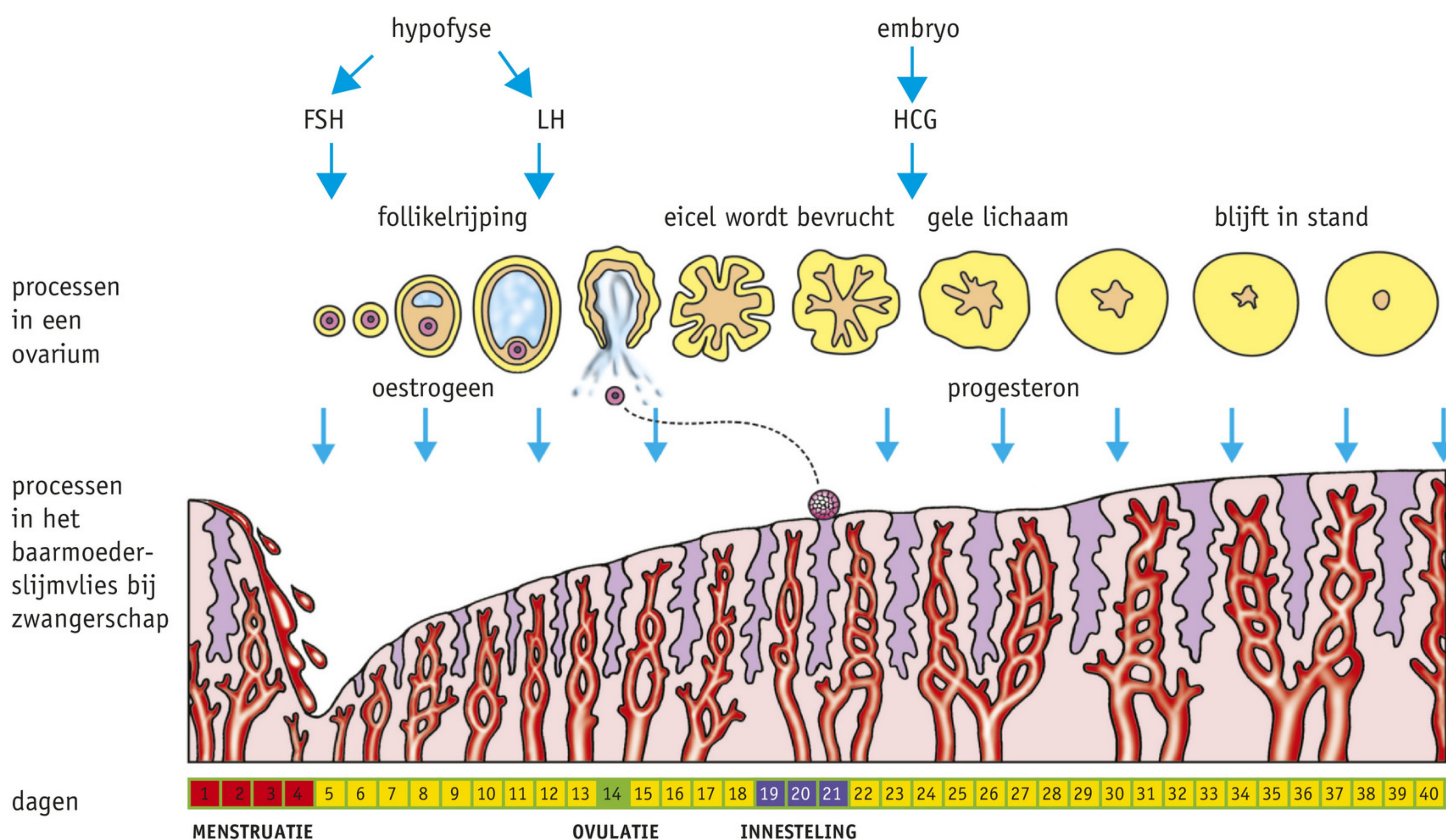
4 Zwanger

De bevruchting van een eikel is gelukt. Een klompje cellen is op weg naar de baarmoeder, waar het zich zal innestelen in het baarmoederslijmvlies. Als alles goed gaat, wordt ongeveer negen maanden later een baby geboren.

HCG

Na een bevruchting produceert het gele lichaam nog drie maanden progesteron. Niet onder invloed van LH, dat immers geremd wordt door het progesteron, maar onder invloed van **HCG**. HCG is een afkorting van **humaan choriongonatropine**. Dit hormoon wordt in de eerste weken na de bevruchting door het 'kind' gevormd. In de periode daarna wordt HCG door de placenta gevormd. Door HCG blijft het gele lichaam functioneren. Na drie maanden vergaat het gele lichaam. Daarna neemt de placenta de progesteronproductie over. Progesteron houdt de zwangerschap in stand. Door progesteron blijft het baarmoederslijmvlies dik en klierrijk. Er treedt geen menstruatie op (zie afbeelding 33). Progesteron remt de afgifte van FSH en LH door de hypofyse. Hierdoor komen er in de eierstokken geen nieuwe follikels tot rijping en treedt er geen ovulatie op. Ten slotte zorgt progesteron ervoor dat de melkklieren in de borsten zich gaan ontwikkelen.

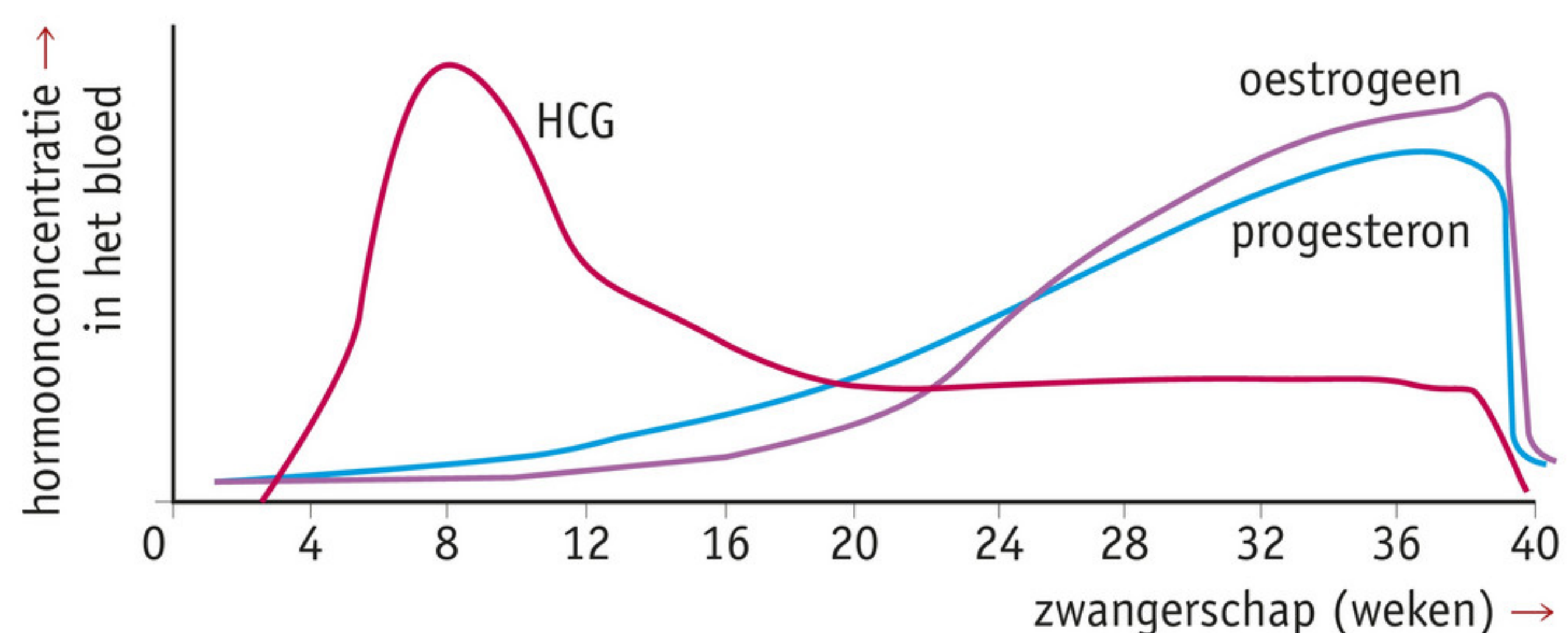
▼ **Afb. 33** Het verband tussen de hormonen, processen in een ovarium en het baarmoederslijmvlies (schematisch).



opdrachten

- 25 Wat is het effect van HCG op de concentratie van progesteron door het gele lichaam?
- 26 Brit en Jos willen graag kinderen. Al een paar maanden probeert Brit zwanger te worden, maar het is nog niet gelukt. Ongeveer halverwege haar menstruatiecyclus hebben Brit en Jos geslachtsgemeenschap gehad. Brit denkt dat het nu gelukt is. Om zeker te zijn doet ze twee dagen erna een zwangerschapstest. Een zwangerschapstest meet de aanwezigheid van HCG. De uitslag is negatief. Betekent deze uitslag dat Brit niet zwanger is? Licht je antwoord toe.
- 27 Moeders voor Moeders is een onderdeel van een bedrijf dat geneesmiddelen produceert. Het bedrijf wilt uit de urine van zwangere vrouwen een hormoon dat kan worden gebruikt voor de behandeling van bepaalde vormen van onvruchtbaarheid.
- Welk hormoon wordt door het bedrijf uit de urine gewonnen?
 - Vrouwen kunnen alleen deelnemen aan Moeders voor Moeders gedurende een bepaalde periode van hun zwangerschap. Leg met behulp van afbeelding 34 uit welke periode dit is en waarom juist in deze periode.

► **Afb. 34** Concentratie hormonen tijdens de zwangerschap.



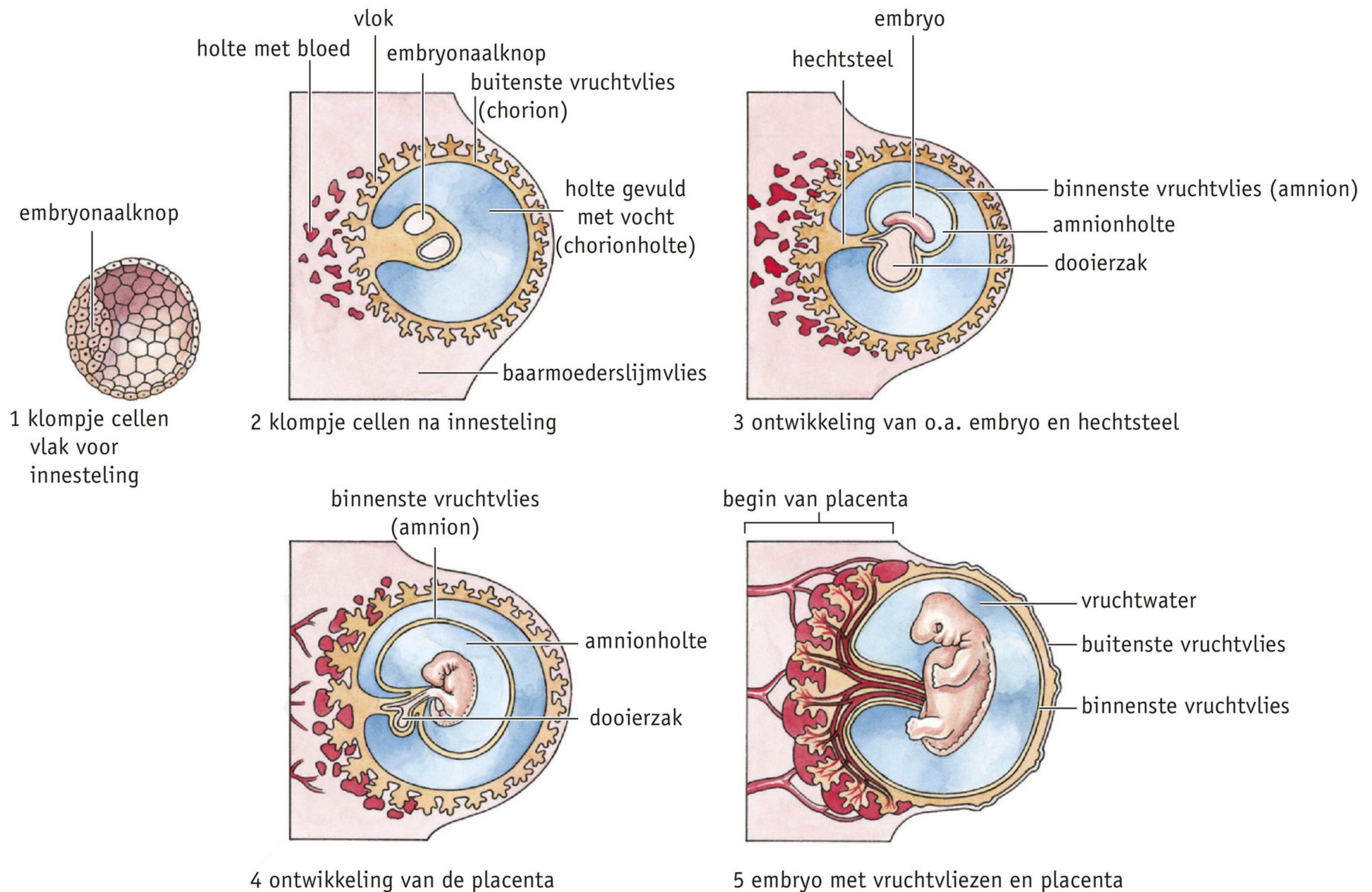
EMBRYONALE ONTWIKKELING

Gedurende de eerste weken van de ontwikkeling noem je een ongeboren kind **embryo**. Bij zoogdieren zoals de mens vindt de **embryonale ontwikkeling** van een kind in het lichaam van de moeder plaats. De moeder voorziet het zich ontwikkelende kind van voedingsstoffen en voert afvalstoffen af.

Na de bevruchting deelt de bevruchte eicel of **zygote** zich binnen het bevruchtingsmembraan. Tijdens de delingen die in de eileider plaatsvinden, groeien de cellen die ontstaan niet. De cellen worden na elke deling kleiner. Deze eerste delingen heten **klievingsdelingen**.

Het klompje cellen dat op deze manier ontstaat, heet de **morula**. Als het klompje cellen in de baarmoeder aankomt, bevat het een holte gevuld met vocht: het **blastula**. Een deel van het klompje cellen vormt het begin van het eigenlijke embryo: de **embryoblast** of **embryonaalknop** (zie afbeelding 35). De buitenste laag cellen, de **trofoblast**, beschermt de embryoblast. De trofoblast zorgt ook voor de innesteling in het baarmoederslijmvlies. Tijdens de innesteling ontstaan in het baarmoederslijmvlies rond het klompje cellen holten, waar het bloed van de moeder doorheen stroomt. De trofoblast vormt het **chorion** of **buitenste vruchtvlies**. De holte die door het chorion wordt omsloten, heet de **chorionholte**.

▼ **Afb. 35** Ontwikkeling van een embryo (schematisch).



Het chorion vormt uitstulpingen die tussen de holten in het baarmoederslijmvlies doorlopen. Via deze chorionvlokken worden zuurstof en voedingsstoffen opgenomen uit het baarmoederslijmvlies. De uitstulpingen en holten ontwikkelen zich tot de **placenta**, een orgaan waarin uitwisseling van stoffen tussen het bloed van de moeder en het bloed van het embryo plaatsvindt.

Intussen heeft ook de embryoblast zich ontwikkeld. In de embryoblast zijn twee holten ontstaan: de **amnionholte** en de **dooierzak**. Uit de cellen tussen deze beide holten ontwikkelt zich het embryo.

Het embryo is omgeven met vocht, het **vruchtwater**, en omsloten door een tweede vlies, het **amnion** of **binnenste vruchtvlies**. De vruchtvliezen omsluiten het embryo en het vruchtwater. Het vruchtwater beschermt het embryo tegen schokken en tegen uitdroging. Bovendien kan het embryo zich in het vruchtwater gemakkelijk bewegen.

opdrachten

- 28** Hoe heten de celdelingen in de eileider, waarbij geen groei plaatsvindt?
- 29** Van wie tref je in de cellen van de trofoblast chromosomen aan: van de vader, van de moeder of van beide ouders?

ONTWIKKELING VAN DE PLACENTA

Vanuit het embryo groeien bloedvaten naar de placenta en vormen de navelstreng. In de placenta vertakken de bloedvaten zich tot uiterst dunne haarvaten, waardoor uitwisseling van stoffen tussen het bloed van de moeder en het bloed van het kind mogelijk is door diffusie en actief transport. De stoffen die worden opgenomen en afgegeven, passeren hierbij membranen die het bloed van de moeder en het kind gescheiden houden.

Vanuit het moederbloed worden zuurstof en voedingsstoffen (zoals glucose) opgenomen in het embryonale bloed. Koolstofdioxide en andere afvalstoffen worden door het embryonale bloed afgegeven aan het moederbloed.

Ziekteverwekkers zoals het rodehondvirus, hiv en de bacterie die syfilis veroorzaakt, kunnen de membranen ook passeren. Ook voor stoffen die schadelijk zijn voor de ontwikkeling van het embryo, zoals sommige geneesmiddelen, alcohol, nicotine en drugs, vormen de membranen geen barrière. Vrouwen die tijdens de zwangerschap roken, brengen gemiddeld kleinere kinderen ter wereld dan vrouwen die niet roken. Verder komen ook sommige antistoffen tegen ziekteverwekkers vanuit het moederbloed in het embryonale bloed terecht.

▼ **Afb. 36** Foetus, 12 weken oud.



Vanaf de achtste week na de bevruchting noem je het ongeboren kind een **foetus**. Bijna alle weefsels zijn dan gevormd en de organen zijn in aanleg aanwezig. De foetus lijkt dan al enigszins op een mens (zie afbeelding 36) en is ongeveer 5 cm lang. Vanaf deze periode vindt vooral groei plaats. Gemiddeld is een baby bij de geboorte ruim 50 cm lang en iets meer dan 3400 g zwaar.

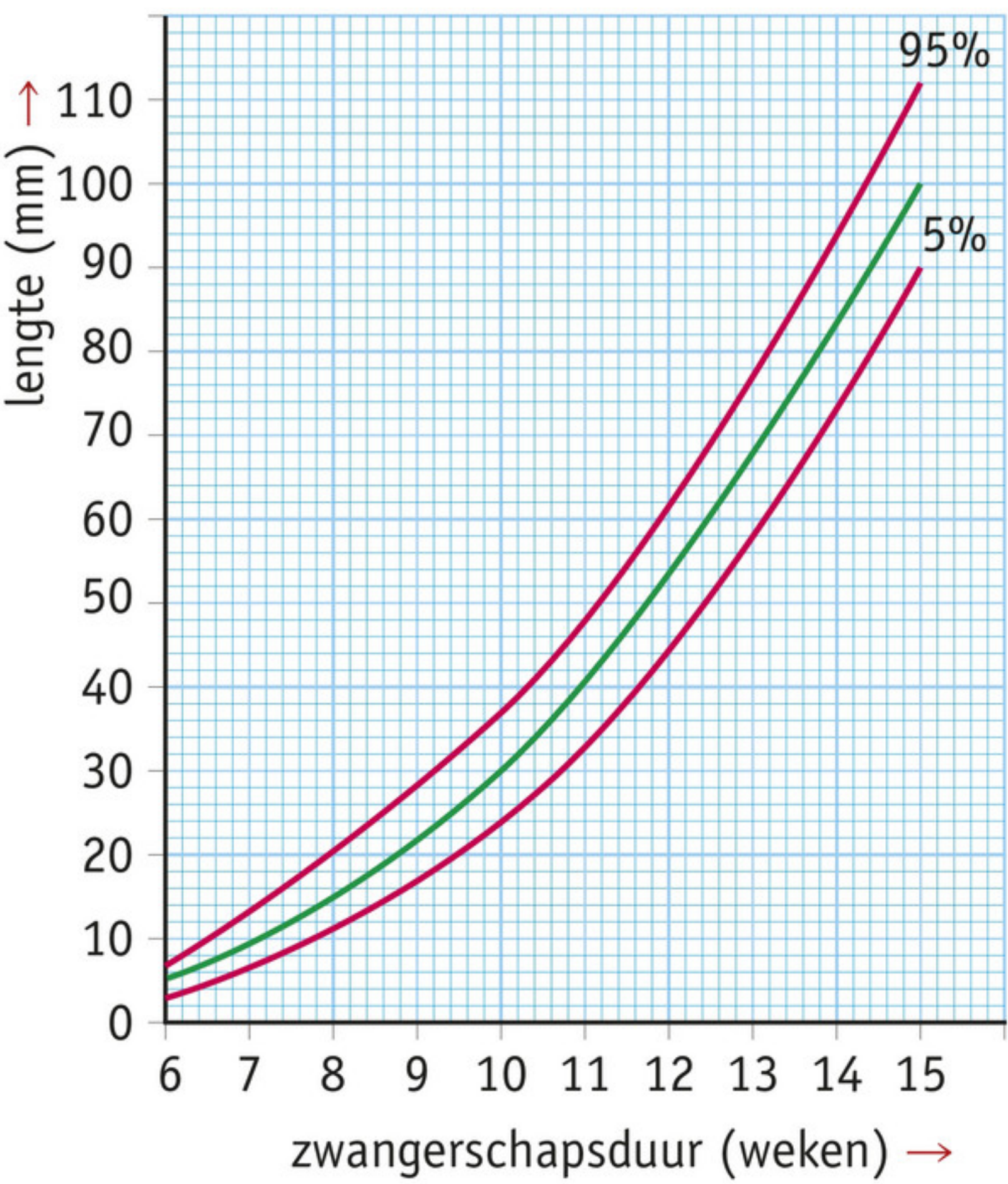
CELDIFFERENTIATIE

Tijdens de embryonale ontwikkeling krijgen weefsels en organen hun vorm. De vorm van cellen verandert, sommige cellen verplaatsen zich, er komen veel nieuwe cellen bij en er sterven cellen af. Hoe cellen zich ontwikkelen, hangt af van hun plaats in het embryo. Cellen beïnvloeden elkaar door het afgeven van stoffen, waardoor de cellen steeds meer verschillen vertonen. Dit wordt **celdifferentiatie** genoemd. Alle cellen van een embryo bevatten hetzelfde DNA, maar in elke cel is slechts een deel van het DNA actief. Welke delen actief zijn, hangt samen met de plaats waar de cel zich bevindt. Hierdoor ontstaan uiteindelijk verschillende weefsels. Beïnvloeding door cellen uit de omgeving kan er zelfs toe leiden dat een cel zichzelf laat afsterven. Deze geprogrammeerde celdood heet **apoptose**. Als bij een embryo de vingers zich beginnen te ontwikkelen, zitten deze nog met vliezen aan elkaar vast. In een later stadium sterven de cellen van deze vliezen af. Verloopt de apoptose niet goed, dan wordt een kind geboren met vliezen tussen de vingers. Door apoptose verdwijnen overbodige en ongewenste weefsels.

opdrachten

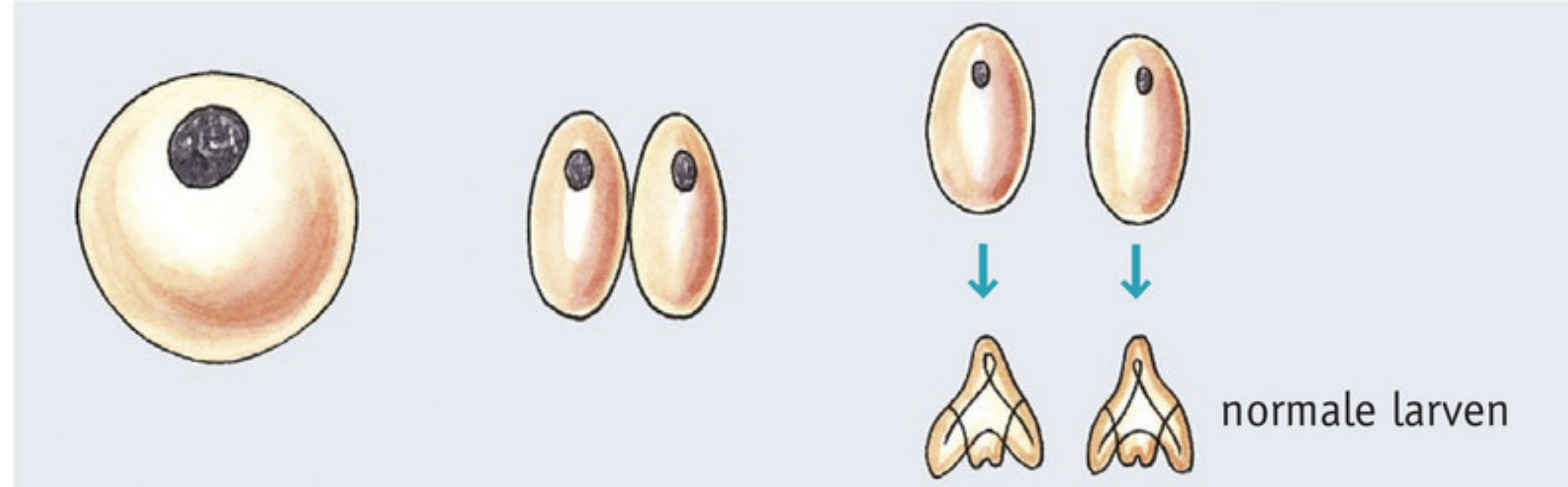
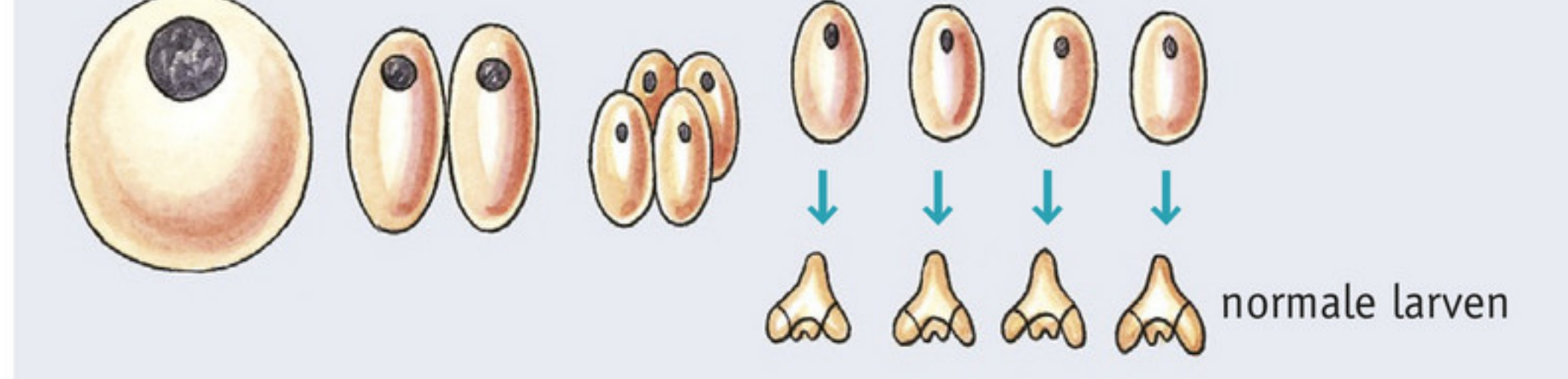
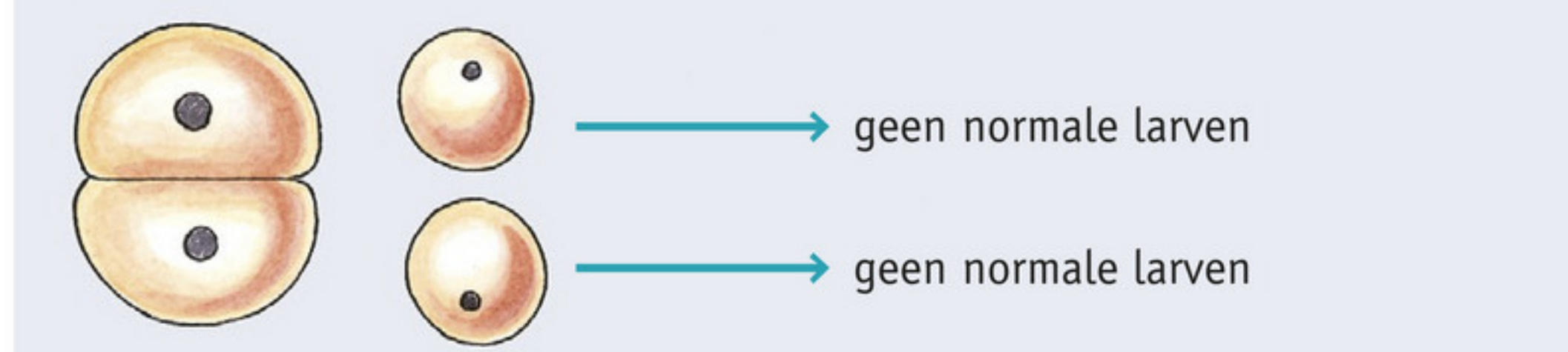
- 30** Berekenen van de zwangerschapsduur vanuit de eerste dag van de laatste menstruatie is alleen betrouwbaar als er een regelmatige cyclus is van 28 dagen. Hoe onregelmatiger de cyclus, hoe onbetrouwbaarder de uitgerekenende datum van de bevalling. De berekening in het verleden was: + 7 dagen vanaf de eerste dag van de laatste menstruatie, + 9 maanden (of – 3 maanden). Als de dag van de bevruchting bekend is, is de berekening: – 7 dagen vanaf de bevruchting + 9 maanden.
- a** Waardoor is deze methode voor vrouwen met een onregelmatige cyclus onbetrouwbaar?

▼ **Afb. 37** Grafiek van de CRL van week 6 tot en met week 15.

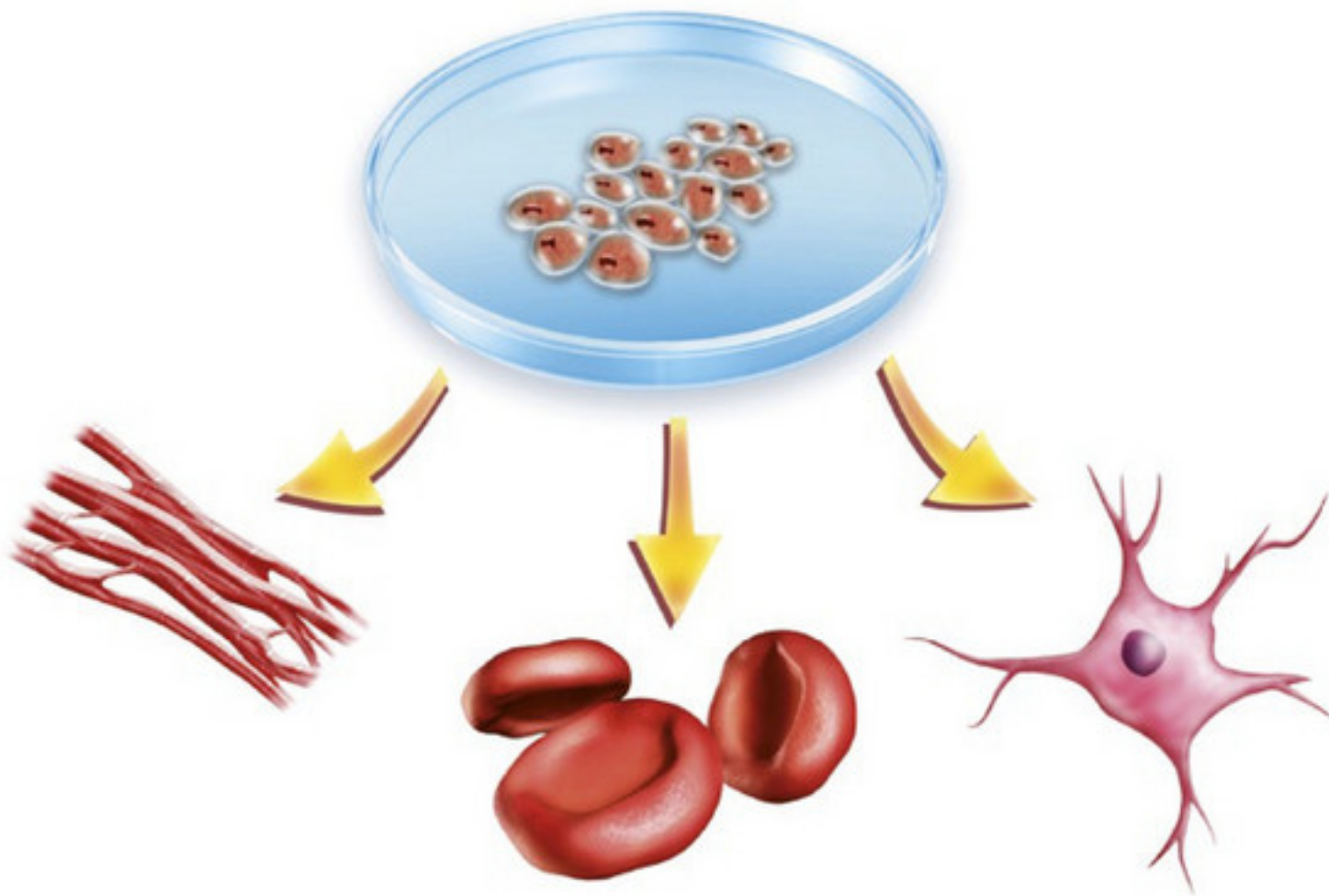


▼ **Afb. 38**

- b** De werkelijke duur van de zwangerschap is vanaf het moment van de bevruchting tot de geboorte.
Hoeveel weken duurt de werkelijke zwangerschap bij de mens, volgens de berekening bij opdracht a? Leg je antwoord uit.
- 31** Een meer betrouwbare manier om de duur van de zwangerschap vast te stellen en daaruit de uitgerekende datum te berekenen, is door rond de tiende week in de zwangerschap echoscopisch onderzoek te doen waarbij de lengte van het embryo van kruin tot stuitje wordt gemeten. Deze lengte heet CRL (crown rump length).
In afbeelding 37 zie je een grafiek van de groei van een embryo. De groene lijn geeft het gemiddelde aan, de rode lijnen de marges.
Een zwangere vrouw laat een echo maken. De CRL blijkt 55 mm te zijn. Met behulp van de grafiek wordt bepaald wanneer de geboorte zal plaatsvinden. Op hoeveel dagen nauwkeurig is deze meting?
- 32** In afbeelding 38 is een onderzoek naar zee-egeleieren weergegeven.
a Tijdens welk stadium vindt in de cellen de eerste differentiatie plaats?
b De hypothese is in afbeelding 38 niet ingevuld.
Stel de hypothese op op basis van de gegevens in afbeelding 38.
c Leg uit dat experiment 4 de hypothese bevestigt.

ONDERZOEK		CELDIFFERENTIATIE BIJ ZEE-EGELS	
Inleiding	Tijdens de ontwikkeling van een embryo ontstaan verschillende typen cellen uit dezelfde bevruchte eicel. De cellen bevatten allemaal dezelfde erfelijke informatie.		
Onderzoeksvraag	Is er in de bevruchte eicel differentiatie in de verdeling van het cytoplasma, waardoor tijdens de klievingsdelingen cellen ontstaan met verschillen?		
Hypothese			
Experiment	Bevruchte eicellen van een zee-egel worden na de eerste, tweede en derde klievingsdeling van elkaar gescheiden en een bevruchte eicel wordt loodrecht op de eerste klievingsdeling in tweeën gedeeld. Daarna worden alle cellen apart opgekweekt.		
Resultaat	1 In het tweecellige stadium worden de cellen gescheiden.  2 In het viercellige stadium worden de cellen gescheiden.  3 In het achtcellige stadium worden de cellen gescheiden.  4 De zygote wordt loodrecht op de eerste klievingsrichting in tweeën gedeeld. 		
Conclusie	De hypothese is juist.		

- ▼ **Afb. 39** Uit een embryonale stamcel kunnen allerlei verschillende cellen ontstaan.



STAMCELLEN

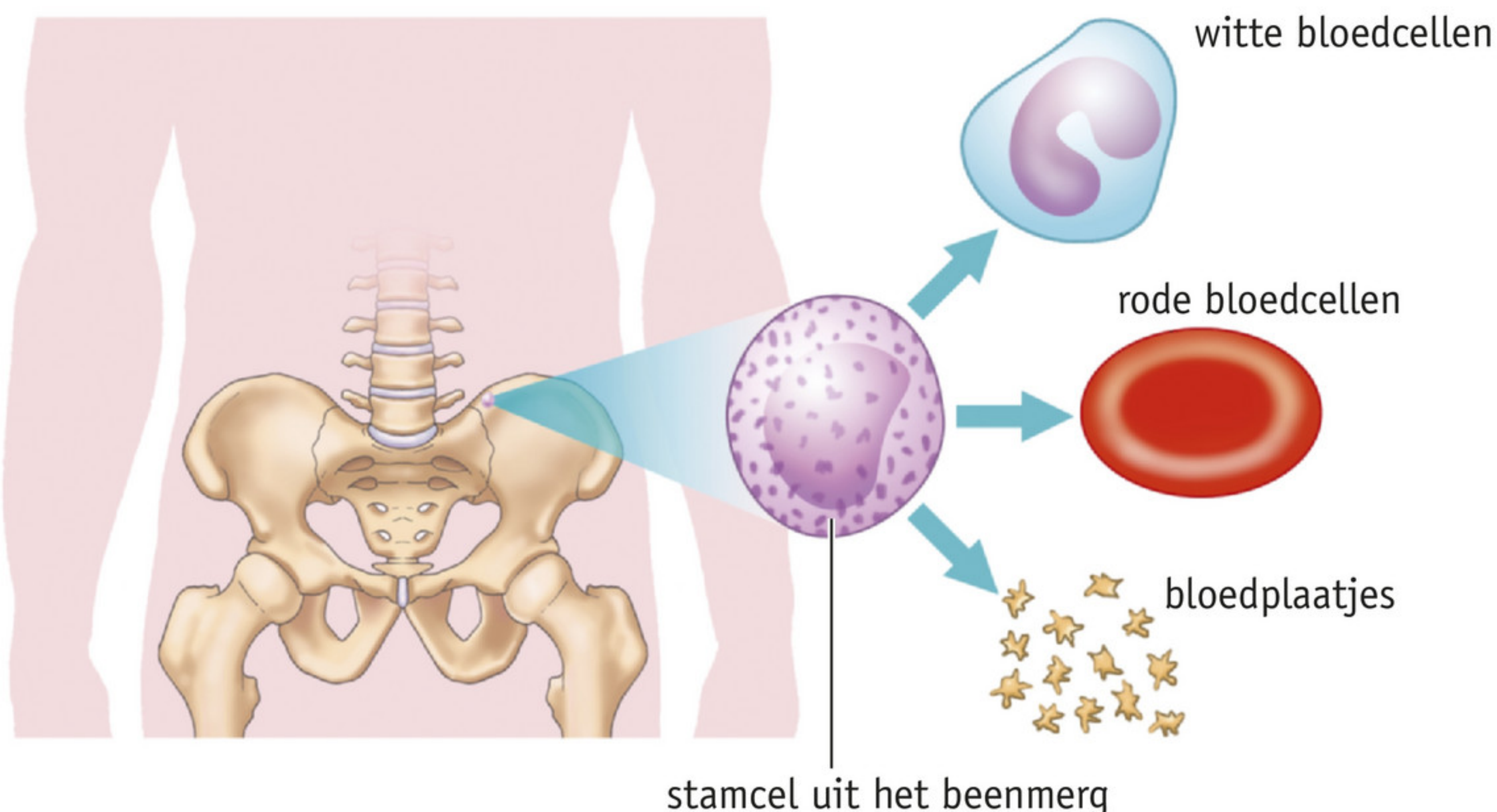
Veel planten en dieren bestaan uit een groot aantal cellen. De meeste cellen zijn sterk gespecialiseerd, zoals zenuwcellen bij mensen. Alle cellen van een organisme zijn ontstaan uit één enkele cel. Bij mensen is dat de bevruchte eicel. Een bevruchte eicel is nog niet gespecialiseerd en kan nog van alles worden. Cellen die nog niet (volledig) zijn gespecialiseerd, heten **stamcellen**. Stamcellen kunnen zich tot een specifiek celtype ontwikkelen. Stamcellen van een embryo groeien uit tot allerlei verschillende cellen (zie afbeelding 39). Het zijn embryonale stamcellen. Maar ook allerlei organen blijken stamcellen te bevatten. Zo bevat beenmerg stamcellen die kunnen uitgroeien tot verschillende bloedcellen (zie afbeelding 40). Deze stamcellen worden adulte (volwassen) stamcellen genoemd. Adulte stamcellen kunnen beperkt differentiëren in andere celtypen.

Stamceltherapie is een nieuwe tak in de geneeskunde. Met behulp van stamcellen hopen onderzoekers manieren te vinden om beschadigde cellen of zelfs hele organen te vervangen.

opdrachten

- 33 In 2008 is in de Verenigde Staten een proef gestart met de toepassing van stamcellen. Het ging om mensen met een beschadiging aan hun ruggenmerg. De stamcellen voor deze test waren afkomstig van embryo's van enkele dagen oud.
Leg uit hoe het beschadigde ruggenmerg door stamceltherapie kan worden hersteld.
- 34 Een onderzoeker brengt een bepaald type stamcellen in huidweefsel in. De stamcellen blijken zich te ontwikkelen tot huidcellen. Vervolgens brengt hij stamcellen van hetzelfde type in zenuwweefsel in. Nu blijken de stamcellen zich tot zenuwweefsel te ontwikkelen.
a Welk type stamcellen heeft de onderzoeker gebruikt?
b Leg met behulp van deze gegevens uit of stamcellen zich in een bepaalde richting ontwikkelen door informatie uit hun omgeving of door informatie in de cel zelf.
- 35 Na een hartinfarct is vaak een deel van de hartspier beschadigd. Wetenschappers onderzoeken of ze met stamcellen nieuwe hartcellen kunnen maken voor mensen die een hartinfarct hebben gehad. Wat voor type stamcellen denk je dat ze gebruiken? Betrek bij je antwoord ook een ethisch argument.

- ▼ **Afb. 40** Verschillende typen bloedcellen ontstaan uit adulte stamcellen in het beenmerg.



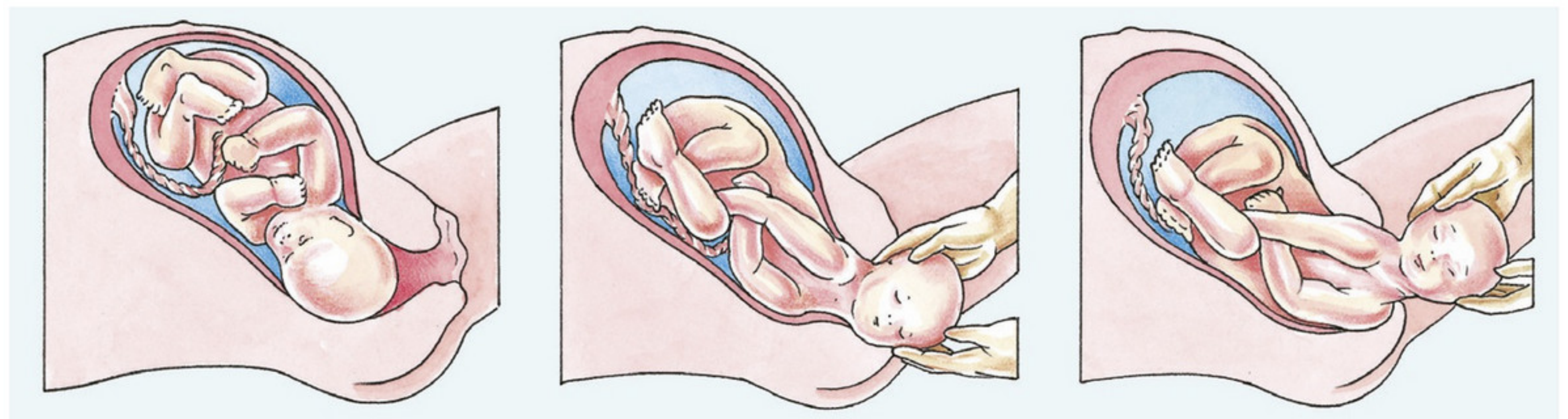
DE GEBOORTE

Een paar weken voor de bevalling zakt het hoofdje van de foetus tot in het bekken. Dit wordt de indaling genoemd. Tijdens de indaling trekt het bovenste deel van de baarmoederwand zich samen, waardoor het hoofdje van de foetus in de bekkenholte komt te liggen. De samentrekkingen van de baarmoeder voelt de moeder als weeën en die zijn soms pijnlijk.

Als de geboorte begint, heeft een vrouw met regelmatige tussenpozen weeën. Tijdens deze weeën worden de baarmoederhals en de baarmoedermond wijder: de zogeheten ontsluiting. Tijdens de ontsluiting breken vaak de vruchtvliezen. Als de opening in de baarmoederhals ongeveer tien centimeter is, is de ontsluiting volledig.

De moeder mag dan ook actief gaan ‘persen’. Door de spiersamentrekkingen wordt het hoofdje van de foetus door de baarmoederhals geduwd. Het hoofdje draait daarbij naar beneden, om onder het schaambeentje van de moeder door te kunnen. Ook de romp van de baby draait op deze manier (zie afbeelding 41). De uitdrijving kan heel snel gaan, in enkele seconden, maar duurt bij het eerste kind vaak één tot anderhalf uur. Bij een tweede kind gaat het meestal sneller.

► **Afb. 41** De uitdrijving.



Na de geboorte is de baby nog via de navelstreng verbonden met de placenta in de baarmoeder. De verloskundige of arts zet klemmen op de navelstreng waardoor geen bloed uit de navelstreng kan stromen. Daarna wordt de navelstreng doorgeknipt.

Na de uitdrijving is de bevalling nog niet helemaal afgelopen. Ongeveer een kwartier na de geboorte ontstaan de weeën van de nageboorte. De placenta, de resten van de navelstreng en de vruchtvliezen worden losgewoeld en uitgedreven.

opdrachten

- 36 Wat gebeurt er bij de indaling?
- 37 Nadat de placenta is uitgedreven, trekt de baarmoeder zich samen. Dit helpt om de wond te sluiten.
Beredeneer wat het gevolg kan zijn als de placenta niet of niet geheel wordt uitgedreven na de geboorte.

CONTEXT

Beroep

Gynaecoloog

▼ **Afb. 42** Marit aan het werk.



Marit werkt als gynaecoloog in een academisch ziekenhuis (zie afbeelding 42). 'Ik heb eerst de studie geneeskunde gedaan. Na mijn artsexamen heb ik gesolliciteerd naar een opleidingsplaats. Hier leer je het vak gynaecologie in de praktijk in ongeveer zes jaar. Je bent veel in overleg, je doet onderzoek en je bent de hele dag in de weer met patiënten, familie en medisch personeel. Ik sta voor een groot deel in de kliniek. Hier houd ik me bezig met verloskunde, onvruchtbaarheid, menstruatiestoornissen, hormoonbehandelingen, ontlastingsproblemen en ziekten zoals baarmoeder(hals)-, eierstok- en vulvakanker. Het is in dit werk nodig om leergierig, nieuwsgierig en kritisch te zijn. Je moet kleine details opmerken en op de hoogte blijven van de nieuwste ontwikkelingen. Regelmatig wordt er onderzoek gedaan om ziektebeelden beter te begrijpen of betere behandelmethoden te ontwikkelen. Denk hierbij aan onderzoek naar behandeling en diagnostiek van kanker of aan onderzoek naar verminderd seksueel verlangen. Ik ben betrokken bij een onderzoek naar de beste behandeling van hevige menstruaties. Een van de behandelingen in dit onderzoek is een relatief nieuw ontwikkelde techniek, waarbij het baarmoederslijmvlies wordt verwijderd. Ik geef ook een middag in de week college aan geneeskundestudenten.'

opdracht

- 38 a Noteer drie categorieën waarin je de werkzaamheden van Marit kunt indelen.
b Noteer drie verschillende capaciteiten die je nodig hebt in dit beroep.
c Geef aan of je denkt dat het beroep gynaecoloog een geschikt beroep voor jou is. Besteed in je antwoord aandacht aan de benodigde capaciteiten en hoe interessant je de werkzaamheden vindt.

Leerdoelen

- Je kent de ontwikkelingen tijdens puberteit en adolescentie.
- Je kunt seksualiteit toelichten en een mening geven over verschillende vormen van seksualiteit.

5 Seksualiteit

Tijdens de puberteit worden veel jongeren voor het eerst verliefd. Seksualiteit gaat dan een grote rol spelen. Allerlei vragen doemen op, net als fantasieën over hoe het zou zijn om met een jongen of een meisje te vrijen.

PUBERTEIT EN ADOLESCENTIE

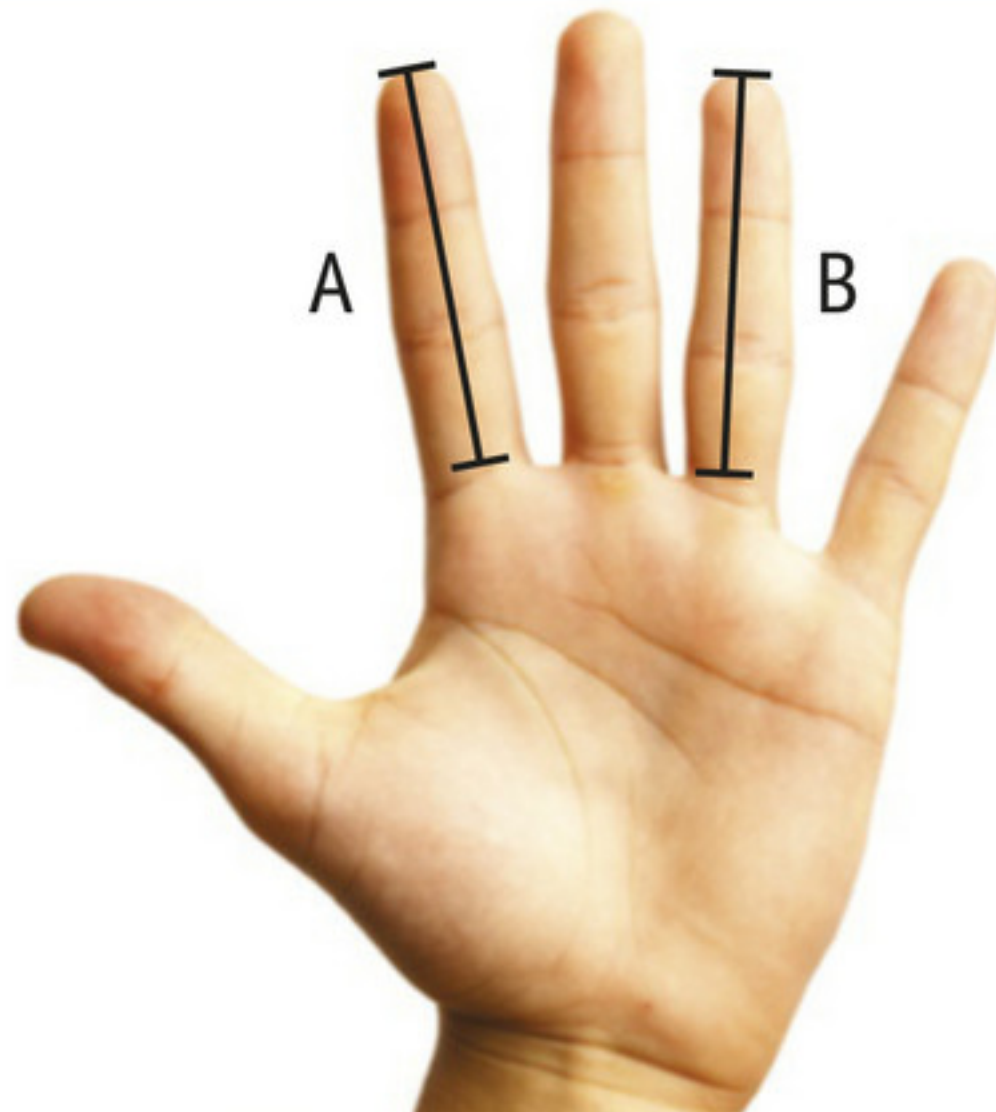
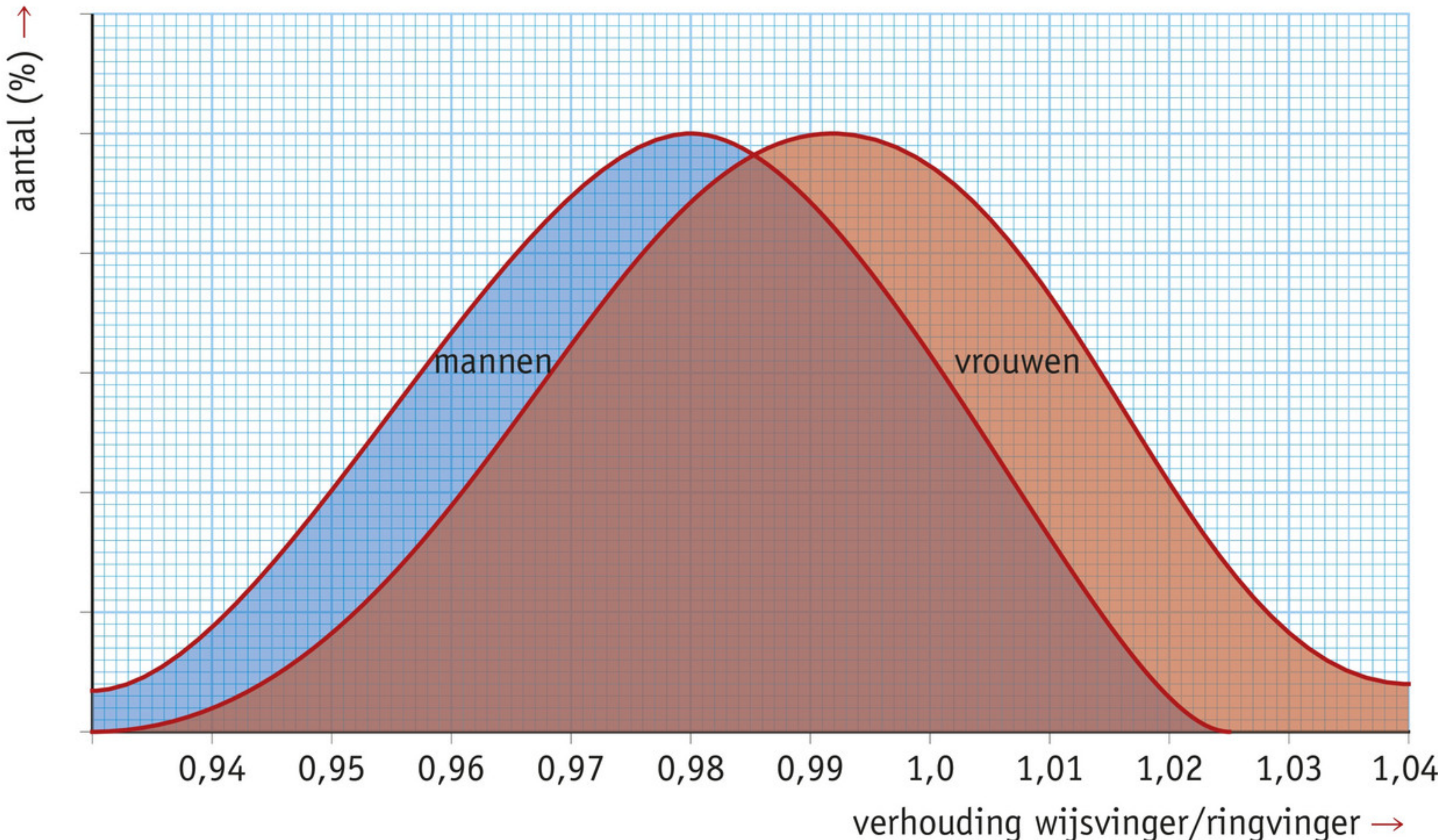
De levensfase waarin het lichaam volwassen wordt, heet de **puberteit**. Het woord is afkomstig van het Latijnse woord *pubertas* dat volwassenheid betekent. De periode loopt van ongeveer 10 tot 17 jaar, maar is per mens verschillend. De levensfase waarin een mens geestelijk volwassen wordt, heet **adolescentie**. Het woord stamt af van het Latijnse woord *adolescere* dat opgroeien betekent. Over de periode van de adolescentie lopen de meningen uiteen, doordat het begin en einde van de geestelijke groei niet nauwkeurig zijn vast te stellen. In Nederland laten we vaak de adolescentie beginnen aan het einde van de puberteit en eindigen tussen de 20 en 25 jaar, maar soms wordt ook de puberteit als deel van de adolescentie gezien.

Tijdens de puberteit zijn er lichamelijke en geestelijke veranderingen. Veel van die veranderingen hebben te maken met de voorbereiding op de voortplanting en het zelfstandig worden. In de puberteit ontwikkelen zich de secundaire geslachtskenmerken, zoals baardgroei bij jongens en borsten bij meisjes. Ook word je vaak voor het eerst verliefd en kun je je onzeker voelen. Er ontstaan grotere verschillen tussen jongens en meisjes; niet alleen in uiterlijk, maar ook in gedrag.

opdrachten

- 39** Tijdens de puberteit treden allerlei veranderingen op, zowel lichamelijk als in gedrag.
- Noteer twee lichamelijke veranderingen die bij jongens en/of meisjes optreden (bedenk andere veranderingen dan die in de tekst staan).
 - Noteer hoe jouw gedrag is veranderd vergeleken met toen je 10 jaar oud was. Denk aan: hoeveel risico's je neemt, hoe laat je opstaat, hoe goed je je kunt concentreren, hoe belangrijk vrienden voor je zijn, enzovoort.
- 40** Bekijk afbeelding 43. De conclusie is in de afbeelding niet ingevuld. Zijn de volgende uitspraken over het onderzoek juist of onjuist? Leg telkens je antwoord uit.
- Uit het resultaat blijkt dat testosteron van invloed is op de verhouding van de lengte tussen de wijs- en ringvinger.
 - Uit het resultaat blijkt dat mannen gemiddeld een langere ringvinger hebben dan vrouwen.
 - Uit het resultaat blijkt dat je aan de hand van de verhouding tussen de lengten van de wijs- en ringvinger kunt bepalen of iemand een man of een vrouw is.
 - Uit het diagram blijkt dat er uiterlijke verschillen bestaan tussen mannen en vrouwen.
 - De hypothese is bevestigd.

▼ Afb. 43

ONDERZOEK		VINGERLENGTE BIJ MANNEN EN VROUWEN	
Inleiding	Meer dan een eeuw geleden bleek uit onderzoek dat mannen in verhouding langere ringvingers hebben dan vrouwen. Volgens onderzoekers wordt dit veroorzaakt door de hoeveelheid van het mannelijke geslachtshormoon testosteron waaraan een embryo in de baarmoeder is blootgesteld. Door meer testosteron zou de ringvinger wat langer doorgroeien dan de wijsvinger.		
Onderzoeksvraag	Is de verhouding tussen de lengte van de wijsvinger en de ringvinger bij mannen kleiner dan bij vrouwen?		
Hypothese	Sommige mannen hebben ringvingers die korter zijn dan de wijsvingers en sommige vrouwen hebben ringvingers die juist langer zijn dan de wijsvingers, maar gemiddeld zal de verhouding tussen de lengte van de wijsvinger en de ringvinger bij mannen kleiner zijn dan bij vrouwen.		
Experiment	Op internet wordt een oproep gedaan aan mensen om de lengte van de wijsvinger en de ringvinger op te meten en deze in te voeren op een website. Eerst moeten de bezoekers van de site opgeven of ze man of vrouw zijn en daarna wat de lengte is van hun wijsvinger (A) en hun ringvinger (B). Na het invullen rekt het programma de verhouding tussen de lengte van vingers uit. De resultaten worden opgeslagen in een database.		
Resultaat	Na enkele maanden hebben tienduizenden mensen gegevens ingevoerd. Met behulp van deze gegevens is een diagram gemaakt.		
			
Conclusie			

▼ Afb. 44



SEKSUALITEIT

Onder **seksualiteit** vallen alle gedachten, gevoelens en handelingen die te maken hebben met seks. Seksualiteit speelt in verschillende levensfasen een rol bij het vormen en onderhouden van een relatie. Elkaar aanraken, strelen en zoenen versterkt de band tussen partners (zie afbeelding 44). Seksualiteit kan ook als doel hebben genot te ervaren. Dat wordt lustbeleving genoemd. **Seksuele opwindning** ontstaat bijvoorbeeld door aanraking of door te kijken naar afbeeldingen en films van vrijende of naakte mensen.

In de puberteit ontdekken jongens en meisjes hun lichaam en raken voor het eerst seksueel opgewonden. Veel jongeren beginnen in deze periode te masturberen. Door masturbatie of vrijen kun je een seksuele ontlading krijgen: klaarkomen of een **orgasme** krijgen.

In de puberteit speelt seksualiteit vooral een rol bij de lustbeleving en bij het vormen en onderhouden van een relatie.

Tijdens de volwassen levensfase is daarnaast ook voortplanting een doel van seksualiteit. Bij vrouwen verdwijnt deze functie tijdens de overgang (menopauze), een periode die rond het 50e levensjaar begint als in de eierstokken de vruchtbare eicellen op zijn. Hierdoor treden hormonale veranderingen op en stopt de menstruatie. Ook bij mannen verandert de hormoonhuishouding, zij gaan geleidelijk minder testosteron produceren. Sommige mannen krijgen last van erectieproblemen. Mannen blijven meestal wel tot op hoge leeftijd vruchtbaar.

opdracht

- 41** Over seksualiteit en seks bestaan veel misverstanden. Hierna staan vijf uitspraken. Overleg met een klasgenoot welke van deze uitspraken juist zijn. Zoek indien nodig naar meer informatie. Controleer daarna jullie antwoorden.
- a** Masturberen kan negatieve gevolgen hebben voor de gezondheid.
 - b** Vrouwen masturberen minder dan mannen.
 - c** Een vrouw heeft net zoals een man testosteron nodig om zin in seks te hebben.
 - d** Mannen hebben vaker zin in seks dan vrouwen, want mannen maken meer testosteron aan.
 - e** Vanaf een dag of drie voor de ovulatie tot de dag van de ovulatie raakt een vrouw sneller seksueel opgewonden dan tijdens de rest van de menstruatiecyclus.

SEKSUELE DIVERSITEIT

Bij seksualiteit spelen veel factoren een rol. In verschillende culturen wordt verschillend gedacht over wat wel en niet kan op het gebied van seksualiteit. Sommigen vinden dat seksualiteit hoort bij een vaste partner, anderen vinden dat minder of niet belangrijk.

De meeste mensen zijn **heteroseksueel**: ze voelen zich seksueel aangetrokken tot het andere geslacht. Ongeveer 5% van de mensen is **homoseksueel**, ze voelen zich seksueel aangetrokken tot hetzelfde geslacht. Homoseksuele vrouwen worden lesbisch genoemd. Mensen die zich tot beide geslachten aangetrokken voelen, worden **biseksueel** genoemd.

▼ **Afb. 45** Bill Kaulitz van de band Tokio Hotel heeft een androgyn uiterlijk.



Het woord **gender** wordt gebruikt om het geheel van psychologische, culturele en sociale kenmerken van een sekse aan te geven. **Transgender** wordt vaak gebruikt als term voor iedereen die zich anders voelt dan het geslacht waarmee hij of zij is geboren. Hier vallen onder anderen travestieten, androgynen en transseksuelen onder. Travestieten kleden zich voor kortere of langere tijd als iemand van het andere geslacht. Androgynen mensen voelen zich vrouwelijk én mannelijk of juist niet vrouwelijk en ook niet mannelijk (zie afbeelding 45). Een transseksueel voelt zich behoren tot het andere geslacht en wil meestal een geslachtsoperatie ondergaan.

Een andere term voor transgender is **genderdysforie**. Met genderdysforie wordt iemand geboren. Vermoedelijk ontstaat genderdysforie tijdens de ontwikkeling van een foetus door de concentratie van bepaalde hormonen.

De uitdrukking 'uit de kast komen' of '**coming-out**' wordt gebruikt wanneer een homo, lesbienne, biseksueel of transgender voor het eerst openlijk uitkomt voor zijn of haar seksuele voorkeur of genderdysforie.

opdracht

- 42** Transgender is de overkoepelende term voor travestie, androgynie, transseksualiteit en andere vormen van gendervariatie.
- a** Zoek op internet naar bekende transgenders en hun vorm van gendervariatie.
 - b** Kies een van deze vormen van gendervariatie.
Maak een poster op A4-formaat of een presentatie over die vorm van transgender. Geef in de poster of presentatie in elk geval aan wat precies met de term wordt bedoeld en geef jouw beargumenteerde mening over transgenderisme.

ACCEPTATIE VAN HOMOSEKSUALITEIT

In Nederland is het verboden om te discrimineren vanwege homoseksualiteit (zie afbeelding 46).

Dat is in veel andere landen niet zo. In sommige landen is het ten strengste verboden homoseksueel te zijn. In deze landen worden homoseksuele mannen en vrouwen zelfs vervolgd of moeten vrezen voor hun leven.

▼ **Afb. 46** Huwelijksplechtigheid tussen twee mannen.



opdracht

- 43** Hier staan vijf uitspraken over homoseksualiteit. Over twee van deze uitspraken ga je je mening geven.
- 1 De liefde tussen twee homoseksuele mensen verschilt niet van de liefde tussen twee heteroseksuele mensen.
 - 2 Het is begrijpelijk dat mensen het niet prettig vinden dat een homoseksueel paar in hun straat woont.
 - 3 Homoseksuele mensen moeten overal voor hun homoseksuele geaardheid uit kunnen komen.
 - 4 Een kerk mag een priester ontslaan als blijkt dat deze homoseksueel is.
 - 5 Homoseksuelen moeten kunnen trouwen en kinderen kunnen adopteren.
- a** Kies de uitspraak uit waar jij het het meest mee eens bent. Noteer deze uitspraak en zet er kort achter waarom je het met deze uitspraak eens bent.
 - b** Kies ook de uitspraak uit waar jij het het meest mee oneens bent. Noteer ook deze uitspraak en beargumenteer je mening.
 - c** Vergelijk de uitspraken die je hebt gekozen en de argumenten die je hebt gegeven met die van enkele klasgenoten.

SEKSUEEL GEWELD

Er is sprake van seksueel geweld als iemand een andere persoon dwingt tot seksueel contact. Het slachtoffer wordt dan seksueel misbruikt. Voorbeelden van seksueel misbruik zijn ongewenste intimiteiten, incest, aanranding en verkrachting. Ook seksuele handelingen bij mensen die vanwege hun leeftijd, afhankelijkheid van de dader of geestelijke toestand geen nee kunnen zeggen, vallen onder seksueel misbruik.

Een voorbeeld van seksueel geweld zijn loverboys (of -girls). Een loverboy probeert een meisje de prostitutie in te dwingen. Meestal gebeurt dit door het slachtoffer eerst te verleiden en daarna te bedreigen.

Ook digitaal komt seksueel geweld voor, bijvoorbeeld in de vorm van grooming. Bij grooming verleidt een volwassene minderjarige meisjes of jongens. Dit gebeurt eerst via sociale media. De dader probeert het slachtoffer te verleiden om bijvoorbeeld naakt voor de webcam te komen. Uiteindelijk kan het tot een ontmoeting leiden waarbij het slachtoffer wordt misbruikt.

Veel gevallen van seksueel geweld worden nooit gemeld. Het slachtoffer durft er bijvoorbeeld niet over te praten, schaamt zich of wordt bedreigd door de dader. De dader kan alleen worden gestraft als slachtoffers vertellen wat er is gebeurd. Dit kan bijvoorbeeld bij de huisarts of een vertrouwenspersoon op school.

Wat je wel of niet wilt op het gebied van seks is iets wat je moet ontdekken. Als je voelt dat er een grens is bereikt, geef dit dan aan. Wees duidelijk en praat over wat je wel en niet wilt.

opdracht

- 44** Schrijf een scenario voor een voorlichtingsfilm over seksueel geweld. Beschrijf in het scenario een poging tot seksueel geweld waarbij het slachtoffer duidelijk opkomt voor zijn of haar grenzen. Het scenario bestaat in elk geval uit een situatieschets en een conversatie.

▼ **Afb. 47** Helpwanted.nl is een website over online seksueel misbruik van kinderen en jongeren.



CONTEXT

Leefwereld

Naaktfoto leidt tot zelfmoord

In Canada is geschokt gereageerd op de zelfmoord van de 15-jarige Amanda Todd. In een video op YouTube vertelde ze hoe ze jarenlang het slachtoffer was van een cyberpester. De tiener was door een vreemde overgehaald om haar borsten voor een webcam te laten zien. Hierna verspreidde hij naaktfoto's van Amanda op Facebook, waarna het pesten begon. Volgens diverse media heeft de man het meisje tot zelfmoord gedreven.

Bron: www.rtlnieuws.nl, 13-10-2012.

opdracht

- 45 Hier staan acht uitspraken over seksueel geweld. Je gaat in een groepje discussiëren over deze uitspraken.
- 1 Op school regelmatig tegen iemand seksueel getinte uitspraken doen is een vorm van seksuele intimidatie.
 - 2 Als je seksueel bent misbruikt, kun je daar maar beter met niemand over praten, want dan raket je alle ellende weer op.
 - 3 Een loverboy kun je direct herkennen.
 - 4 Als een meisje zich uitdagend kleedt, lokt ze seksueel misbruik uit.
 - 5 Als een jongen een paar drankjes voor een meisje betaalt, mag hij als tegenprestatie wel seks verwachten.
 - 6 'Schuren' op de dansvloer moet kunnen.
 - 7 Voor een goede vriend kun je je voor de webcam wel uitkleden.
 - 8 Als je ervoor zorgt dat je anoniem blijft, kun je best webcamseks met iemand hebben.
- a Elk lid van jullie groepje kiest een (andere) uitspraak (je hoeft niet alle uitspraken te gebruiken). Je schrijft deze uitspraak boven aan een leeg velletje papier.
- b Vervolgens schrijf je eronder hoe jij over deze uitspraak denkt. Na ongeveer drie minuten geven jullie de velletjes door. Lees de mening van je klasgenoot en schrijf jouw mening daaronder. Je kunt het eens of oneens zijn met je klasgenoot.
- c Na ongeveer drie minuten wissel je weer van velletje, enzovoort, net zolang tot je je eigen velletje met het commentaar van de anderen terug hebt.
- d Discussieer daarna in je groepje over de uitspraken.

Leerdoelen

- Je kunt de risico’s op infectie met seksueel overdraagbare aandoeningen toelichten.
- Je kent methoden om zwangerschap te voorkomen en hun voor- en nadelen.

▼ Afb. 48 Voorlichtingsposter.



▼ Afb. 49 Informatie over een aantal veelvoorkomende soa’s.

6 Soa’s en geboorteregeling

Een soa of ongewenste zwangerschap kun je op verschillende manieren voorkomen.

SOA’S

Soa’s zijn **seksueel overdraagbare aandoeningen**. Het zijn infectieziekten waarbij de ziekteverwekker meestal via seksueel contact wordt overgedragen. Hoewel niet precies bekend is hoeveel mensen per jaar een soa krijgen, zijn dat er in Nederland naar schatting ruim honderdduizend per jaar. Veel soa’s zijn goed te behandelen, maar sommige hebben ernstige gevolgen als ze niet op tijd worden behandeld.

Soa’s worden overgedragen via sperma, bloed, vaginaal vocht en bij contact van slijmvliesen (bijvoorbeeld in de mond en de endeldarm). Een soa krijg je niet door uit een kopje van iemand anders te drinken, een hoestbui, insectenbeten of een vieze toiletbril. Iemand loopt een soa meestal op door onveilig vrijen. Door veilig te vrijen verminder je de kans op een soa (zie afbeelding 48).

Veilig vrijen houdt in dat je:

- seksueel contact hebt met één vaste partner, die zelf ook nooit met een andere partner vrijt en geen soa heeft;
- elkaar streelt, tongzoent, kust, knuffelt, masseert, jezelf bevredigt of elkaar met de hand bevredigt;
- bij orale seks (pijpen en beffen) en bij vaginale geslachtsgemeenschap (penis in de vagina) een CE-goedgekeurd condoom of beflapje gebruikt;
- bij anale geslachtsgemeenschap (penis in de anus) een daarvoor geschikt condoom met extra veel glijmiddel gebruikt.

Hiv, hepatitis B en syfilis zijn via bloed overdraagbaar en kun je dus ook oplopen door naalden of spuiten te gebruiken die door iemand anders zijn gebruikt. Bij **aids** is iemand ziek doordat hij besmet is met **hiv** (human immunodeficiency virus). Iemand die wel besmet is met hiv, maar nog niet ziek is, is seropositief. Er zijn dan antistoffen in het bloed (serum) die met een test kunnen worden aangetoond. In afbeelding 49 zie je een overzicht van een aantal soa’s.

Ziekte	Ziekteverschijnselen	Te genezen met	(Mogelijke) gevolgen zonder tijdige behandeling
Chlamydia	meer (of andere) afscheiding uit penis, vagina of anus; branderig gevoel bij het plassen (Vaak merk je er niets van.)	antibiotica Maak de voorgeschreven kuur helemaal af.	– eileiderontsteking – onvruchtbaarheid – bijbalontsteking
Gonorroe	meer (of andere) afscheiding uit penis of vagina; branderig gevoel bij het plassen	antibiotica Maak de voorgeschreven kuur helemaal af.	– eileiderontsteking – bijbalontsteking – onvruchtbaarheid
Herpes genitalis	aanvallen van blaasjes en zweertjes rondom de geslachtsdelen of anus	niet te genezen Medicijnen remmen een aanval.	geen gevolgen
Hiv/aids	Geen specifieke verschijnselen: het aidsvirus tast het afweersysteem aan.	niet te genezen Hiv-remmers remmen de ziekte.	vatbaarheid voor allerlei ziekten; aids leidt in Nederland meestal niet meer tot de dood.
Syfilis	zweertjes of vlekjes op penis, vagina, anus of mond	antibiotica Maak de voorgeschreven kuur helemaal af.	Na jaren: aantasting van organen en anus of mond. Kan leiden tot de dood.

SOATEST

Na onveilig seksueel contact is een soatest de enige manier om zeker te weten of je een soa of hiv hebt. Jongeren onder de 25 jaar kunnen bij de huisarts of bij de GGD gratis een soa-test laten doen. Zo'n test is niet nodig als je nog geen seks hebt gehad, of als je altijd veilig hebt gevrijd. Het soort test is afhankelijk van de risico's die je hebt gelopen. Bij mannen is een urinetest vaak voldoende. Hiermee kan onder andere op chlamydia en gonorroe worden getest. Bij vrouwen is een uitstrijkje nodig. Voor een uitstrijkje van de vagina wordt met een speciaal wattenstaafje diep in de vagina over de wand gestreken. Om op syfilis, hepatitis B en hiv te testen, is bloedonderzoek nodig.

Waarschuw altijd je huidige en ex-sekspartners als je een soa hebt, zodat ook zij door een huisarts of kliniek kunnen worden behandeld.

opdrachten

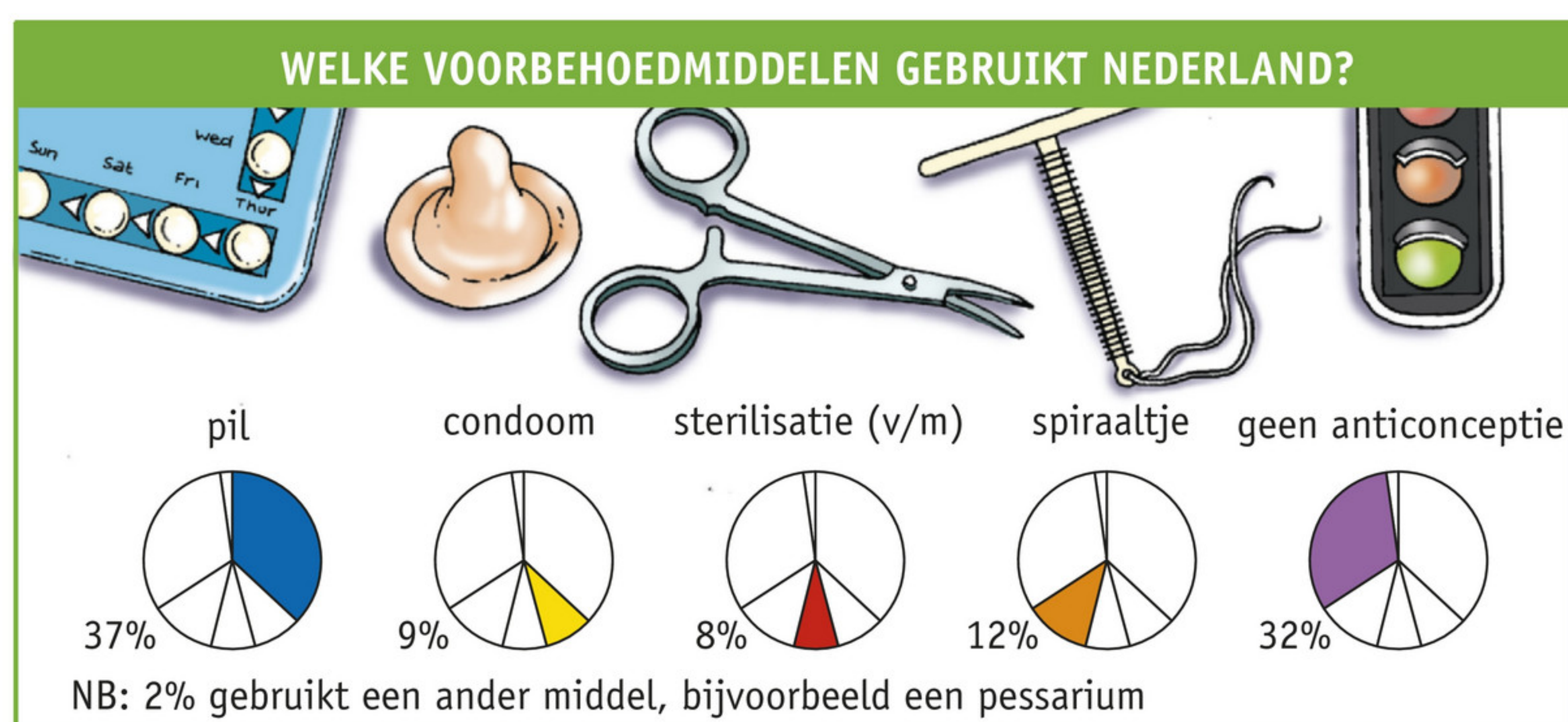
- 46 Tijdens seks kun je van iemand griep oplopen. Is griep een soa? Leg je antwoord uit.
- 47 Waarom is wassen en afspoelen van de geslachtsorganen na geslachts-gemeenschap geen goede methode om besmetting met een soa te voorkomen?
- 48 Waardoor is niet exact bekend hoeveel mensen per jaar een soa oplopen?
- 49 Om te voorkomen dat je bij seks een soa oploopt, is het verstandig een condoom te gebruiken. Maar niet iedereen wil of doet dat. Ook zijn er situaties waarbij beide partners geen condoom bij zich hebben, maar wel graag seks zouden hebben. Hier staan tien smoezen om seks te hebben zonder een condoom te gebruiken. Bij de eerste is een reactie gegeven. Kies vijf van de overige smoezen uit. Noteer deze en geef bij elke smoes een reactie.
- 1 Vertrouw je me niet of zo?
Bijvoorbeeld: Nee, ik denk niet dat je aids hebt en ik vertrouw je best wel, anders waren we hier nu niet. Maar als je iets hebt, weet je dat vaak zelf niet. Dus neem ik, met ons allebei, geen risico's. Of: Ik vertrouw jou wel, maar je ex niet.
 - 2 Maar je bent toch aan de pil?
 - 3 Als je niet zonder condoom wilt vrijen, maak ik het uit.
 - 4 Je bent de enige met wie ik het zonder condoom doe.
 - 5 Ik weet zeker dat ik niets heb, want ik heb geen klachten.
 - 6 Met condoom is er niets aan.
 - 7 We zijn toch elkaars eerste?
 - 8 Ik ben allergisch voor rubber.
 - 9 Ik heb geen condooms bij me en ik kan ze nu niet meer kopen.
 - 10 Ik ken niemand met een soa.

ZWANGERSCHAP VOORKOMEN

Om ongewenste zwangerschap te voorkomen, maken veel mensen gebruik van **voorbehoedmiddelen** en andere methoden van **anticonceptie**. Bij vrouwen is het gebruik van de anticonceptiepil de meest voorkomende methode (zie afbeelding 50). De hormonen in de pil zorgen ervoor dat er geen eikel vrijkomt. Ze maken ook het slijmvlies van de baarmoederwand ongeschikt voor innesteling. Bovendien wordt het slijm in de baarmoederhals dikker, waardoor zaadcellen minder goed in de baarmoeder kunnen doordringen. Door deze drievoudige werking zijn anticonceptiepillen, mits ze op de juiste manier worden gebruikt, zeer betrouwbaar. Na het stoppen met de pil kan een vrouw meteen zwanger raken.

Bij vrouwen die roken, verhoogt het gebruik van de pil de kans op hart- en vaatziekten. De combinatie van roken én de pil slikken wordt dan ook sterk afgeraden. Bepaalde geneesmiddelen verminderen de werking van de pil, zoals sommige kalmeringsmiddelen en antibiotica.

► **Afb. 50** Welke anticonceptie gebruiken Nederlandse vrouwen van 18 tot 45 jaar (gegevens 2013)?



Andere manieren om zwangerschap te voorkomen door middel van **hormonale regulatie** zijn de prikpil, het anticonceptiestaaftje, een hormoonpleister en de anticonceptiering. Na het stoppen met de prikpil kan het meer dan een jaar duren voor de vruchtbaarheid terugkeert.

Naast hormonale regulatie kunnen man en vrouw kiezen voor gebruik van een condoom of pessarium. Deze middelen houden het sperma tegen, zodat het de eikel niet kan bereiken.

Bij het gebruik van een condoom kan het fout gaan doordat het condoom niet goed wordt gebruikt of de kwaliteit ervan niet goed is. Om de betrouwbaarheid van condooms en pessaria te vergroten, worden ze vaak gebruikt in combinatie met een zaaddodend middel. Een condoom beschermt ook tegen besmetting met een soa. Een spiraaltje wordt door een arts in de baarmoeder geplaatst en voorkomt innesteling. Een vrouw kan kiezen voor een spiraaltje met of zonder hormonen.

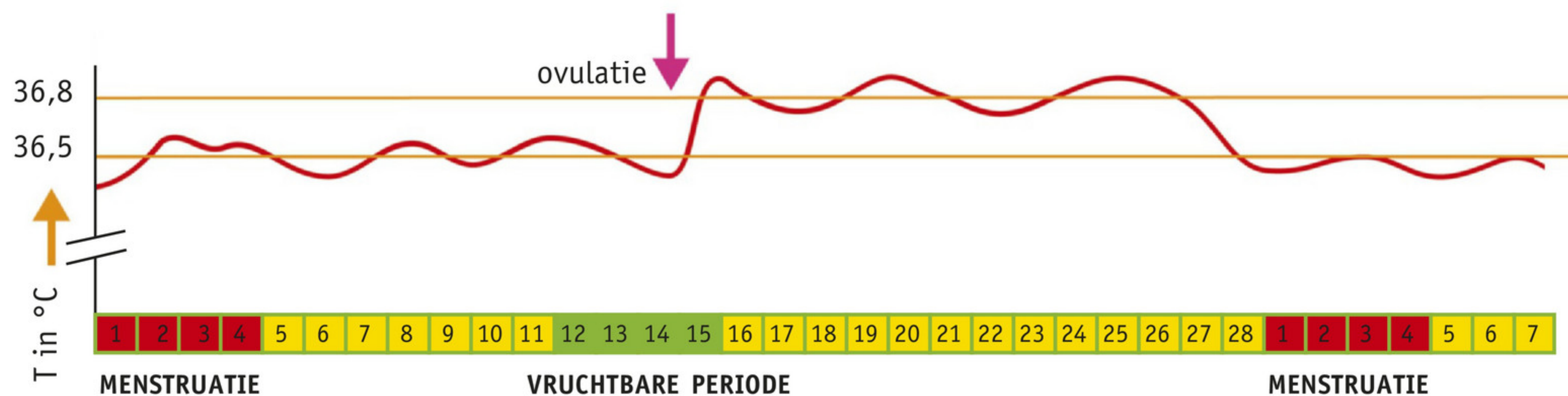
Mannen en vrouwen die zeker weten dat ze geen kinderen (meer) willen krijgen, kiezen soms voor sterilisatie. Dit is de meest betrouwbare methode. Sterilisatie heeft de intentie om blijvend te zijn, maar kan in sommige gevallen ongedaan worden gemaakt. Bij sterilisatie van de man worden de zaadleiters onderbroken, waardoor zaadcellen niet meer vanuit de bijbal bij het sperma kunnen komen. De zaadcellen worden in de bijballen afgebroken. Bij sterilisatie van de vrouw worden de eileiters onderbroken. Zaadcellen kunnen dan niet meer bij de eikel komen. Sterilisatie heeft geen negatieve gevolgen voor de werking van de geslachtsorganen.

Ongeveer een op de drie stellen gebruikt geen voorbehoedmiddelen. Een deel van deze stellen probeert zwangerschap te voorkomen via periodieke onthouding. Tijdens de vruchtbare periode onthouden zij zich van geslachtsgemeenschap. De vruchtbare periode duurt maar een paar dagen, alleen is het lastig om deze periode exact te bepalen. Een hulpmiddel is het meten van de lichaamstemperatuur.

De lichaamstemperatuur gaat na de ovulatie gemiddeld 0,3 tot 0,4 °C omhoog (zie afbeelding 51). Tijdens de volgende menstruatie daalt de temperatuur weer. Door de temperatuur gedurende een aantal maanden dagelijks te meten, krijgt een vrouw inzicht in het moment van ovulatie. Periodieke onthouding zonder temperatuurmeting is als anticonceptiemethode niet erg betrouwbaar.

▼ **Afb. 51** Het verloop van de lichaamstemperatuur van een vrouw gedurende de menstruatiecyclus.

Als je denkt dat je zwanger bent, kun je een zwangerschapstest doen. Een zwangerschapstest is voor weinig geld te koop bij een apotheek of drogist.



opdracht

- 50 a Op welke drie manieren voorkomen de hormonen in de pil zwangerschap?
 b Alle anticonceptiepillen bevatten een progestageen hormoon, dat dezelfde werking heeft als progesteron.
 Beredeneer hoe het progestageen hormoon in de pil ervoor zorgt dat geen eisprong plaatsvindt.
 c Veel anticonceptiepillen bevatten daarnaast ook oestrogeen. Dit hormoon is niet noodzakelijk om zwangerschap te voorkomen.
 Leg uit waarom veel anticonceptiepillen toch oestrogeen bevatten.

Pearlindex

De betrouwbaarheid van een anticonceptiemethode wordt aangegeven met de Pearlindex (ontwikkeld door de Amerikaan Raymond Pearl). Het cijfer geeft het aantal zwangerschappen aan dat ondanks het toepassen van de methode ontstaat bij honderd vrouwen die gedurende een jaar de methode gebruiken. In de tabel staan twee cijfers: het theoretisch haalbare en het cijfer dat in de praktijk wordt bereikt (zie afbeelding 52). Wanneer honderd paren gedurende een jaar samenleven zonder aan vruchtbaarheidsregeling te doen, worden ongeveer 85 vrouwen zwanger. De Pearlindex is dan 85. In de praktijk wordt een onzekerheidsmarge gebruikt, doordat soms niet bekend is of de methode wel of niet juist is gebruikt. Er kunnen ook verschillende soorten van het middel zijn of verschillende manieren om de methode toe te passen.

▼ Afb. 52 Pearlindex.

Pearlindex		
	Theoretisch	In de praktijk
Zonder anticonceptiemethode	85	85
Periodieke onthouding		
– standaard dagenmethode	5	12
– via temperatuurmeting	1	2,5–7
Condoom	2	12
Spiraaltje	0,2–1,0	1–3
Anticonceptiepil	0,5	0,2–10
Anticonceptiering (NuvaRing)	0,4	0,65
Sterilisatie		
– man	< 0,1	0,5
– vrouw	2–2,6	0,2–2,6

opdracht

- 51 In deze opdracht staat over drie paren informatie.
Geef bij elk paar aan wat jij de beste methode van anticonceptie voor hen vindt. Licht je antwoord toe.
- 1

Margreet en Dik zijn vijftien jaar getrouwd en hebben twee kinderen. Ze willen zeker geen kinderen meer.
- 2

Julian en Esmay ontmoeten elkaar op vakantie. Ze zijn hevig verliefd en gaan met elkaar naar bed.
- 3

Owen en Leyla zijn een paar maanden getrouwd, maar kennen elkaar al een paar jaar. Ze willen voorlopig nog geen kinderen.

Leerdoelen

- Je kunt oorzaken noemen van verminderde vruchtbaarheid.
- Je kunt standpunten over het ingrijpen in het voortplantingsproces door middel van ivf en ki toelichten.

7 Ongewenst kinderloos

Sommige mensen willen dolgraag kinderen, maar het lukt ze niet om zwanger te worden. Ivf en ki kunnen dan uitkomst bieden.

ONGEWENST KINDERLOOS

In Nederland krijgt ongeveer een op de zes paren die een kind willen, te maken met problemen met vruchtbaarheid. Wanneer van een stel de vrouw na een jaar onbeschermd vrijen niet zwanger is, kunnen ze naar hun huisarts gaan. Die kan voor verder onderzoek doorverwijzen naar een gynaecoloog. Bij ongeveer 30% van de doorverwezen stellen ligt de oorzaak bij de vrouw, bij 30% bij de man en bij 30% bij beiden. In 10% van de gevallen wordt geen oorzaak gevonden.

De kans om ongewenst kinderloos te blijven, neemt toe naarmate een stel ouder wordt. De kwaliteit van de eicellen neemt af en, hoewel in mindere mate, ook de kwaliteit van het sperma. Doordat vrouwen steeds vaker hun kinderwens uitstellen, is het aantal stellen dat problemen heeft met de vruchtbaarheid gegroeid. Ook de leefstijl is van invloed op de vruchtbaarheid. Roken en alcohol- en drugsgebruik verminderen de vruchtbaarheid. Ook van overgewicht, giftige stoffen zoals bestrijdingsmiddelen en sommige geneesmiddelen is aangetoond dat ze de vruchtbaarheid verminderen. Verminderde vruchtbaarheid kan ook worden veroorzaakt door infecties, zoals soa's, en door erfelijke aandoeningen, zoals hormoonstoornissen.

KI EN IVF

Wanneer er weinig zaadcellen in het sperma aanwezig zijn, kan worden gekozen voor **kunstmatige inseminatie (ki)** met zaadcellen van de eigen partner. Het zaad wordt met een dun slangetje meteen in de baarmoeder gespoten (intra-uteriene inseminatie, IUI). Deze methode wordt ook toegepast als gezonde zaadcellen de baarmoedermond niet kunnen passeren.

Bij vrouwen die kinderloos zijn doordat de eileiders niet goed werken of ondoorlaatbaar zijn, kan **in-vitrofertilisatie (ivf)** een uitkomst bieden (zie afbeelding 53). Ivf is een vruchtbaarheidsbehandeling waarbij de bevruchting buiten het lichaam plaatsvindt. 'In vitro' betekent 'in glas' en 'fertilisatie' betekent 'bevruchting'.

► **Afb. 53** Het succes van ivf in Nederland in 2014.



Bron: Landelijke ivf-cijfers, december 2014.

Bij **intracytoplasmatische sperma-injectie (ICSI)** wordt met een naald één zaadcel in een eikel gebracht. ICSI vindt meestal plaats als er te weinig goedbewegende zaadcellen zijn, of wanneer een eerdere ivf-behandeling geen resultaat had.

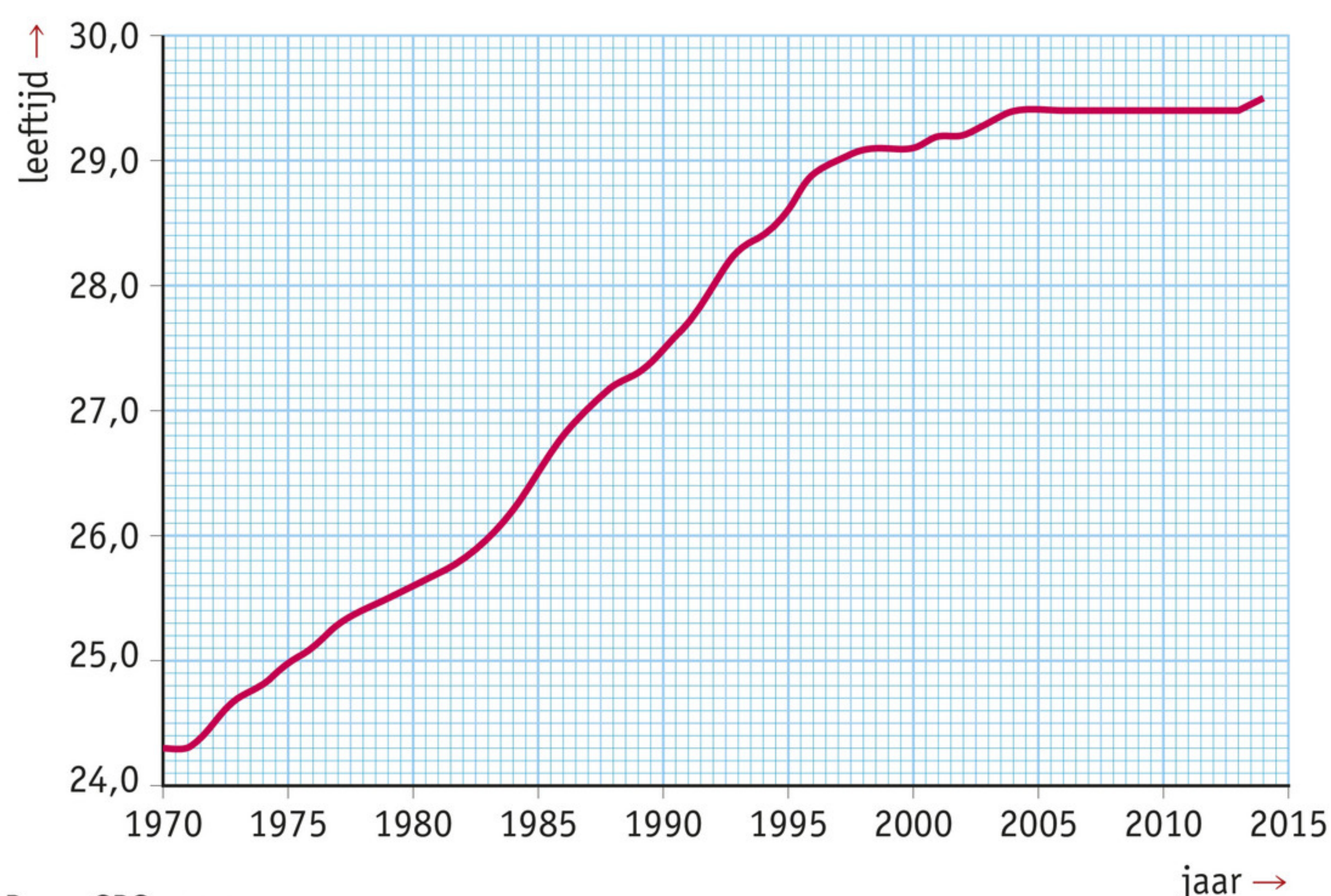
Na de bevruchting plaatst de arts meestal één maar soms twee embryo's in de baarmoeder. Hierna is het afwachten of de vrouw zwanger is. Na ongeveer twee weken kan een zwangerschapstest worden gedaan. De zwangerschap verloopt verder normaal.

In Nederland komen in het algemeen vrouwen boven de 41 jaar niet in aanmerking voor ivf. Nederlandse vrouwen die op latere leeftijd toch via ivf een kind willen, gaan soms naar speciale klinieken in andere landen. Daar geldt een andere leeftijdsgrens.

opdrachten

- 52** De vruchtbaarheid neemt af naarmate je ouder wordt. Dit speelt bij vrouwen een grotere rol dan bij mannen.
- Noteer, naast leeftijd, drie andere oorzaken van onvruchtbaarheid.
 - Verklaar met behulp van afbeelding 54 de toename van het aantal paren dat ongewenst kinderloos is.

► **Afb. 54** Leeftijd waarop vrouwen hun eerste kind krijgen in de periode 1970 tot 2014.



Bron: CBS, 2014.

- 53** Door allerlei medische technologieën kunnen vrouwen op steeds hogere leeftijd kinderen krijgen. In 2011 beviel in het Medisch Centrum Leeuwarden een 63-jarige vrouw van een gezonde dochter. De vrouw werd zwanger na een ivf-behandeling in een Italiaanse kliniek. Voor de baby is gebruik gemaakt van een donoreicel en donorzaadcel. De arts die de vrouw heeft behandeld, vindt dat de leeftijdsgrens voor het moederschap rond de 63 jaar zou moeten liggen. Wat vind jij: zou er een uiterste grens moeten zijn waarop vrouwen kinderen mogen krijgen? Zo ja, op welke leeftijd dan? Geef argumenten voor je mening.
- 54** Wanneer de zaadcellen van de eigen partner niet geschikt zijn, of een vrouw geen mannelijke partner heeft, kan kunstmatige inseminatie met zaadcellen van een donor (kid) worden overwogen. Sinds 2004 kunnen mannen niet anoniem donor meer zijn. Door deze donorregistratie is het aantal zaadceldonoren afgenomen. Ben jij ervoor of ertegen dat kinderen van zaadceldonoren het recht hebben om, als ze dat willen, contact te leggen met hun biologische vader? Leg je antwoord uit.

- 55 Een vrouw bij wie de baarmoeder niet functioneert, is onvruchtbaar. Zo'n vrouw kan toch een eigen kind krijgen met de hulp van een draagmoeder. De embryo's die ontstaan bij een ivf-behandeling, worden bij de draagmoeder geïmplant. Zij doorloopt de zwangerschap en brengt het kind ter wereld. De draagmoeder krijgt betaald voor haar zwangerschap; het bedrag is vooraf contractueel vastgelegd. De Nederlandse wet stelt dat degene die het kind baart de moeder is. De draagmoeder moet dus eerst afstand doen van het kind en vervolgens het kind ter adoptie aanbieden aan de biologische moeder. Vind jij draagmoederschap toelaatbaar? Licht je antwoord toe.

CONTEXT

Leefwereld

- ▼ **Afb. 55** Buisje met cellen voor cryopreservatie.



Cryopreservatie

Eind 2015 adviseerde een Britse onderzoeker alle 18-jarige mannen hun sperma te laten invriezen. Op deze leeftijd is het zaad namelijk van de beste kwaliteit en is er minder kans op afwijkingen bij een kind. Het invriezen van biologisch materiaal bij zeer lage temperaturen heet cryopreservatie. Ook voor vrouwen is het mogelijk om hun eicellen in te vriezen voor later.

Tijdens een vruchtbaarheidsbehandeling ontstaan meestal meerdere embryo's. Embryo's die niet worden gebruikt, kunnen worden ingevroren en bewaard in vloeibare stikstof. Later kunnen deze embryo's eventueel in de baarmoeder worden geplaatst in een natuurlijke cyclus, zonder de hormonenkuur en punctie die bij ivf noodzakelijk zijn.

Het gebruik van gecryopreserveerde embryo's is gebonden aan strenge regels. Het ziekenhuis en de ouders stellen een contract op waarin onder andere de bewaartermijn staat. Ook staat erin wat er met de embryo's gebeurt bij een echtscheiding of het overlijden van een van de partners.

opdrachten

- 56 Bij ivf wordt twee tot drie dagen na de bevruchting de levensvatbaarheid van de embryo's beoordeeld. Een embryo bestaat dan uit vier tot acht cellen.
- Hoe heet een embryo in dit stadium?
 - Een voorwaarde voor cryopreservatie is dat de embryo's 'van goede kwaliteit' zijn.
Noteer twee criteria om te beoordelen of een embryo 'van goede kwaliteit' is.
- 57 Een paar dat geen aanspraak meer wil maken op de embryo's die zijn overgebleven na ivf kan deze embryo's ter beschikking stellen aan de wetenschap.
Welke onderzoeksmogelijkheid biedt het invriezen van deze embryo's?

Je hebt nu de basisstof van dit thema doorgewerkt.

- Doe online de verrijkingsstoffen, de flitskaarten en de oefentoets.
- Ga in het boek verder met de Samenhang en de Examentrainer.

Leerdoelen

- Je kunt het nut van geslachtelijke voortplanting toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.
- Je kunt de biologische vakvaardigheid evolutionair denken toepassen op geslachtelijke en ongeslachtelijke voortplanting.

Waarom hebben we eigenlijk seks?

Seks. Het lijkt heel gewoon, maar is dat ook zo? Waarom doen we het eigenlijk?

Vanuit de evolutietheorie hebben theoretici hier een verklaring voor bedacht. Volgens de evolutietheorie had het eerste leven op aarde helemaal geen seks. Eencelligen vermenigvuldigden zich door te delen; daar hadden ze geen ander voor nodig. Vervolgens begonnen bacteriën erfelijk materiaal uit te wisselen. De essentie van seks was geboren. Een paar miljard jaar later was de biodiversiteit op aarde enorm veel groter en deden meercellige organismen aan voortplanting op een manier zoals je die van kikkers kent: in het water werden eitjes gelegd, klaar om bevrucht te worden. Zo'n vierhonderd miljoen jaar geleden pakte de pantservis het anders aan. Met een grijper bracht het mannetje zijn sperma in de geslachtsopening van het vrouwtje. De eerste keer seks op aarde was een feit.

Er komt nogal wat kijken bij seks als het gaat om voortplanting. Je hebt er twee organismen voor nodig, en bij mensen ook een goede timing. Het kan pas vanaf het moment dat beide personen geslachtsrijp zijn. Als het dan eenmaal zover is, dan is het belangrijk om op het juiste moment seks te hebben zodat er bevruchting kan plaatsvinden. Bovendien wil niet elk mens met zomaar iemand seks hebben. Vaak willen mensen elkaar eerst beter kennen of een relatie hebben.

En wat dacht je van het risico om een ziekte op te lopen? Zo bekeken kost seks een hoop tijd en energie, en heeft het een onzekere uitkomst. Cellen die delen, lijken het dan een stuk gemakkelijker te hebben.

Waarom doen veel soorten dan toch aan seks? Seks blijkt zo z'n voordelen te hebben. Het levert bijvoorbeeld gezonder nageslacht op. Zo bleek bij slakken dat door het combineren van chromosomen van beide ouders de nakomelingen beter beschermd waren tegen parasieten. Bij een bepaalde schimmel leidt seksuele voortplanting tot minder genetische foutjes dan wanneer diezelfde schimmel zich ongeslachtelijk voortplant. Daarnaast heeft seks bij een aantal soorten nog een sociale functie. Bij apen zoals de bonobo speelt seks een rol bij het onderhouden van vriendschappen en bij verzoening na een conflict.

► **Afb. 1** Dwergpapegaaien.



opdrachten

- 1 Neem de tabel over en vul de begrippen in bij het juiste organisatieniveau. Kies uit: *biodiversiteit* – *chromosoom* – *eitje* – *gezonder nageslacht* – *grijper* – *voortplanting* – *water*.

Organisatieniveau	Begrip
Biosfeer	
Ecosysteem	
Populatie	
Organisme	
Orgaan	
Cel	
Molecuul	

- 2 Bij voortplanting wordt DNA overgebracht naar de volgende generatie.
- Hoeveel nakomelingen moet een organisme dat zich geslachtelijk voortplant, minimaal krijgen om zijn complete DNA over te brengen naar de volgende generatie?
 - Hoeveel nakomelingen zijn minimaal nodig bij ongeslachtelijke voortplanting?
 - Laat met behulp van een schema zien wat er gebeurt met de grootte van een populatie gedurende twee generaties, als een geslachtelijk voortplantend koppel twee nakomelingen krijgt, en wat als een ongeslachtelijk voortplantende cel zich deelt.
- 3 Geslachtsorganen zijn er in alle vormen en maten. Waterjuffers hebben een penis met een piepklein schepje, waarmee ze tijdens de paring de vagina van een vrouwtje leegscheppen (zie afbeelding 2).
- Leg uit wat hiervan het voordeel is.
 - Stel je voor dat een waterjufferpopulatie wordt bedreigd door een ziekte waarbij sommige mannetjes een onwerkzaam schepje zouden krijgen. Leg uit wat dat zou betekenen voor de genetische variatie van de populatie.
 - Bij sommige diersoorten komt het voor dat een dominant mannetje de nakomelingen van een andere vader doodt. Als bij leeuwen een nieuw mannetje leider van de groep wordt, probeert hij de welpjes van de oude leider te doden. Maar de moeder verdedigt haar jongen fel. Geef een verklaring voor het gedrag van zowel het mannetje als het vrouwtje.

► **Afb. 2** Waterjuffers tijdens de paring.



practicumopdracht 1

MATERIAAL

- een plant die je wilt klonen
- een kweekbakje of plastic bekertje
- potgrond
- satéprikkers
- water
- stekpoeder

practicumopdracht 2

MATERIAAL

- een klaargemaakt preparaat van een lengtedoorsnede van een jonge uienwortel
- een microscoop met toebehoren

Practica

Een plant klonen

►► BASISSTOF 1

Klonen klinkt vreemd en ingewikkeld, maar eigenlijk is het iets wat veel mensen doen. In deze practicumopdracht onderzoek je hoe je zelf een plant kunt klonen.

METHODE

- Snijd met een scherp mesje een takje met een paar bladeren van de plant.
- Zet het takje in een beker met water en laat het daar ten minste een uur staan.
- Vul het kweekbakje (of plastic bekertje) met potgrond en maak met een satéprikker een gaatje van ongeveer 3 cm diep.
- Schraap met een mesje de bast van het onderste deel van het takje een beetje weg. Let op dat je alleen de bast weg schraapt.
- Doop het takje ongeveer 2 cm in het stekpoeder. Het stekpoeder bevat planten-hormonen die de groei van wortels bevorderen.
- Doe het plantje in het gaatje in het kweekbakje. Druk de aarde losjes aan en geef het plantje water. Zet het plantje op een lichte plek. Na enige tijd ontstaan er worteltjes en gaat het plantje groeien.

RESULTAAT

Maak enkele tekeningen van het plantje vanaf het moment dat het gaat groeien.

Mitose

►► BASISSTOF 1

In worteltoppen van planten vinden voortdurend celdelingen plaats. Tijdens een celdeling zijn de chromosomen zichtbaar. In deze practicumopdracht ga je cellen in een worteltop van een ui bekijken. Die cellen zijn niet allemaal tegelijk aan het delen.

ONDERZOEKSVRAAG

Zijn alle fasen van de mitose in de worteltop te zien?

HYPOTHESE

Als de cellen niet allemaal tegelijk delen, komen alle fasen in het preparaat in beeld.

METHODE

- Bekijk het preparaat bij een vergroting van 100×
- Zoek cellen in vier verschillende fasen van de mitose.
- Maak hiervan tekeningen in de juiste volgorde van de mitose. Gebruik bij het tekenen een vergroting van 400×

RESULTAAT

Het resultaat is afhankelijk van het preparaat. Waarschijnlijk heb je vier verschillende fasen van de mitose gezien en getekend.

practicumopdracht 3

MATERIAAL

- een liniaal of centimeter
- een computer of laptop

▼ **Afb. 1** Op deze manier meet je de vingerlengte.



CONCLUSIE

Beantwoord de volgende vragen.

- 1 Wordt de hypothese bevestigd?

Bij zwangere vrouwen boven de 35 jaar wordt prenataal onderzoek gedaan. Daarbij wordt onderzocht wat het chromosomenaantal van het embryo is.

- 2 In welke fase van de mitose is het chromosomenaantal het best te bepalen? Leg je antwoord uit.
- 3 Welke stap uit een onderzoek is de vraag die in vraag 2 wordt gesteld?

Vingerlengtemeting

► BASISSTOF 3

Bij meisjes begint de groeispuurt in de puberteit eerder dan bij jongens.

Hierbij spelen de geslachtshormonen een rol. In deze practicumopdracht ga je onderzoeken of er verschil in vingerlengte is tussen jongens en meisjes.

ONDERZOEKSVRAAG

Is de middelvinger bij meisjes gemiddeld langer dan bij jongens?

HYPOTHESE

Beantwoord de volgende vragen.

- 1 Bedenk een hypothese voordat je aan het experiment begint.
- 2 Waarop is je hypothese gebaseerd?
- 3 Bij welk meetresultaat wordt je hypothese bevestigd?

METHODE

- Bepaal bij een groot aantal (ongeveer vijftig) klasgenoten en andere leerlingen van ongeveer dezelfde leeftijd de lengte van de linker- en rechtermiddelvinger van jongens en van meisjes, tot op een millimeter nauwkeurig. Meet van het topje van de knokkel tot de nagelgrens (zie afbeelding 1).
- Bereken van elke jongen en elk meisje het gemiddelde van de rechter- en linker-middelvinger.
- Zet van alle jongens en meisjes per persoon de gegevens in een tabel met twee kolommen; een voor de jongens en een voor de meisjes.

Beantwoord de volgende vragen.

- 4 Waarom wordt bij dit onderzoek de middelvinger gekozen?
- 5 Leg uit dat het verstandig is om zowel de linker- als de rechtermiddelvinger op te meten.
- 6 Wat is de reden dat de meting niet bij een enkele klas, maar bij meer leerlingen wordt uitgevoerd?

RESULTAAT

Zet de gegevens van het gemiddelde van alle jongens en van alle meisjes met behulp van een computer uit in een boxplot.

CONCLUSIE

Beantwoord de volgende vragen.

- 7 Welke conclusie kun je trekken die antwoord geeft op de onderzoeksvraag?
- 8 Welke gegevens heb je hierbij gebruikt?
- 9 Bevestigt jouw conclusie je hypothese? Zo nee, kun je dit verklaren?

Samenvatting

LEERDOEL 1 ►► BASISSTOF 1

Je kunt de gebeurtenissen tijdens de celcyclus beschrijven en toepassen.

- Bij celdeling ontstaan uit één moedercel twee dochtercellen.
 - De dochtercellen bevatten dezelfde informatie voor erfelijke eigenschappen als de moedercel.
- Voorafgaand aan een celdeling vindt DNA-replicatie (DNA-synthese) plaats.
 - Van elk DNA-molecuul wordt een kopie gemaakt.
 - Vlak voor een celdeling spiraliseert het DNA, waarbij de beide DNA-moleculen aan elkaar blijven zitten.
 - Centromeer: de plaats waar de DNA-moleculen nog aan elkaar zitten.
- De celcyclus bestaat uit de interfase en de mitose.
 - De interfase bestaat uit de G_1 -fase, de S-fase en de G_2 -fase.
 - Tijdens de interfase zijn de chromosomen niet zichtbaar.
- De G_0 -fase is een rustfase waarin geen celdeling plaatsvindt.
- G_1 -fase: periode tussen mitose en DNA-replicatie.
- S-fase: periode waarin DNA-replicatie plaatsvindt.
- G_2 -fase: periode tussen S-fase en mitose.
- M-fase: periode van mitose en celdeling.
 - De chromosomen (twee chromatiden) worden zichtbaar.
 - De centrosomen vormen een kernspoel uit microtubuli; het kernmembraan verdwijnt.
 - De chromosomen liggen in een vlak tussen de centrosomen.
 - De microtubuli van de kernspoel trekken de chromatiden uit elkaar.
 - De chromosomen (die nu uit één chromatide bestaan) vormen twee celkernen.
 - Tussen de nieuwe celkernen snoert de cel in, waardoor twee dochtercellen ontstaan.
 - Er ontstaan celmembranen, waarbij het cytoplasma wordt verdeeld over de dochtercellen.

LEERDOEL 2 ►► BASISSTOF 1

Je weet dat door ongeslachtelijke voortplanting nakomelingen ontstaan die identiek zijn aan de ouder.

- Ongeslachtelijke voortplanting: reproductie waarbij één ouderlijk individu is betrokken.
 - Bacteriën planten zich ongeslachtelijk voort door zich te delen.
 - Bij meercellige organismen groeit een deel van het organisme uit tot een nieuw organisme. Bijv. uitlopers bij aardbeien en knopvorming bij poliepen.

LEERDOEL 3 ►► BASISSTOF 1

Je kunt standpunten over klonen van organismen toelichten met ethische en biologische argumenten.

- Bij klonen ontstaan genetisch identieke nakomelingen uit één individu.
 - Embryosplitsing: het klompje cellen van een bevruchte eicel wordt gesplitst en in verschillende baarmoeders geplaatst.
 - Kerntransplantatie: de kern van een bevruchte eicel wordt geplaatst in een cel zonder kern. Hierna wordt de eicel in de baarmoeder geplaatst.

LEERDOEL 4 ►► BASISSTOF 2

Je kunt uitleggen hoe door meiose geslachtscellen ontstaan en hoe bevruchting verloopt.

- Geslachtelijke voortplanting vindt plaats door celfusie (samensmelting van twee cellen en celkernen).
- Het aantal chromosomen per celkern is voor elk soort organisme constant.
- De lichaamscellen van de meeste planten en dieren zijn diploïd: van elk type chromosoom bevat een lichaamscel er twee (één paar).
 - Diploïd wordt weergegeven met $2n$, waarbij n staat voor het aantal paren chromosomen.
 - Bij de mens bevat elke lichaamscel 46 chromosomen.
 - Bij de mens geldt: $n = 23$ en $2n = 46$.
- Geslachtscellen zijn haploïd: van elk type chromosoom bevat een geslachtscel er één.
 - Haploïd wordt weergegeven met n .
 - Bij bevruchting versmelten twee geslachtscellen waardoor een diploïde zygote ontstaat.
- Bij meiose worden uit diploïde moedercellen haploïde geslachtscellen gevormd.
 - Meiose bestaat uit twee elkaar opvolgende delingen: meiose I en meiose II.
- Meiose I (reductiedeling): $2n \rightarrow n + n$.
 - Er ontstaan twee haploïde cellen.
- Meiose II: $n + n \rightarrow n + n + n + n$.
 - Er ontstaan vier haploïde cellen.
- Bij een man vindt meiose plaats in de testes.
 - Spermatogenese: uit één zaadcelmoedercel ontstaan vier zaadcellen.
 - Zaadcellen kunnen bewegen en bevatten veel mitochondriën.
- Bij een vrouw vindt meiose plaats in de ovaria.
 - Oögenese: uit een eicelmoedercel ontstaat één eicel (oöcyt).
 - Alle cytoplasma komt in één dochtercel te liggen: de eicel.
 - De andere dochtercellen (poollichaampjes) sterven af.
 - Follikel: blaasje met een eicel in een eierstok.
 - Ovulatie: het openbarsten van een rijpe follikel waardoor een eicel vrijkomt.

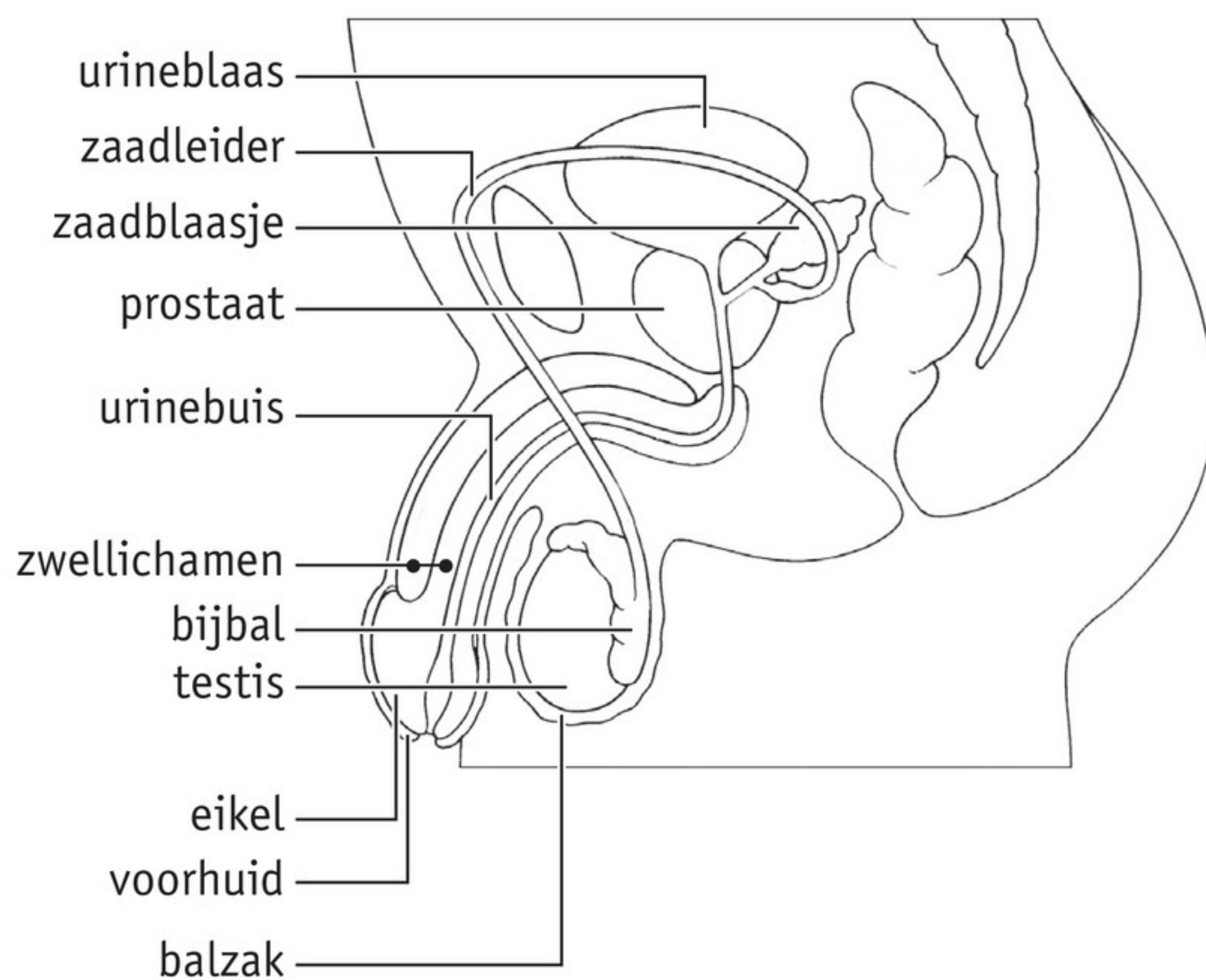
- Door bevruchting ontstaat uit twee haploïde cellen één diploïde cel.
 - Bevruchting vindt in een eileider plaats.
 - Door het ontstaan van een bevruchtingsmembraan kan maar één zaadcel een eikel bevruchten.

LEERDOEL 5 ►► BASISSTOF 2

Je kunt de delen en werking van het voortplantingsstelsel van de mens beschrijven.

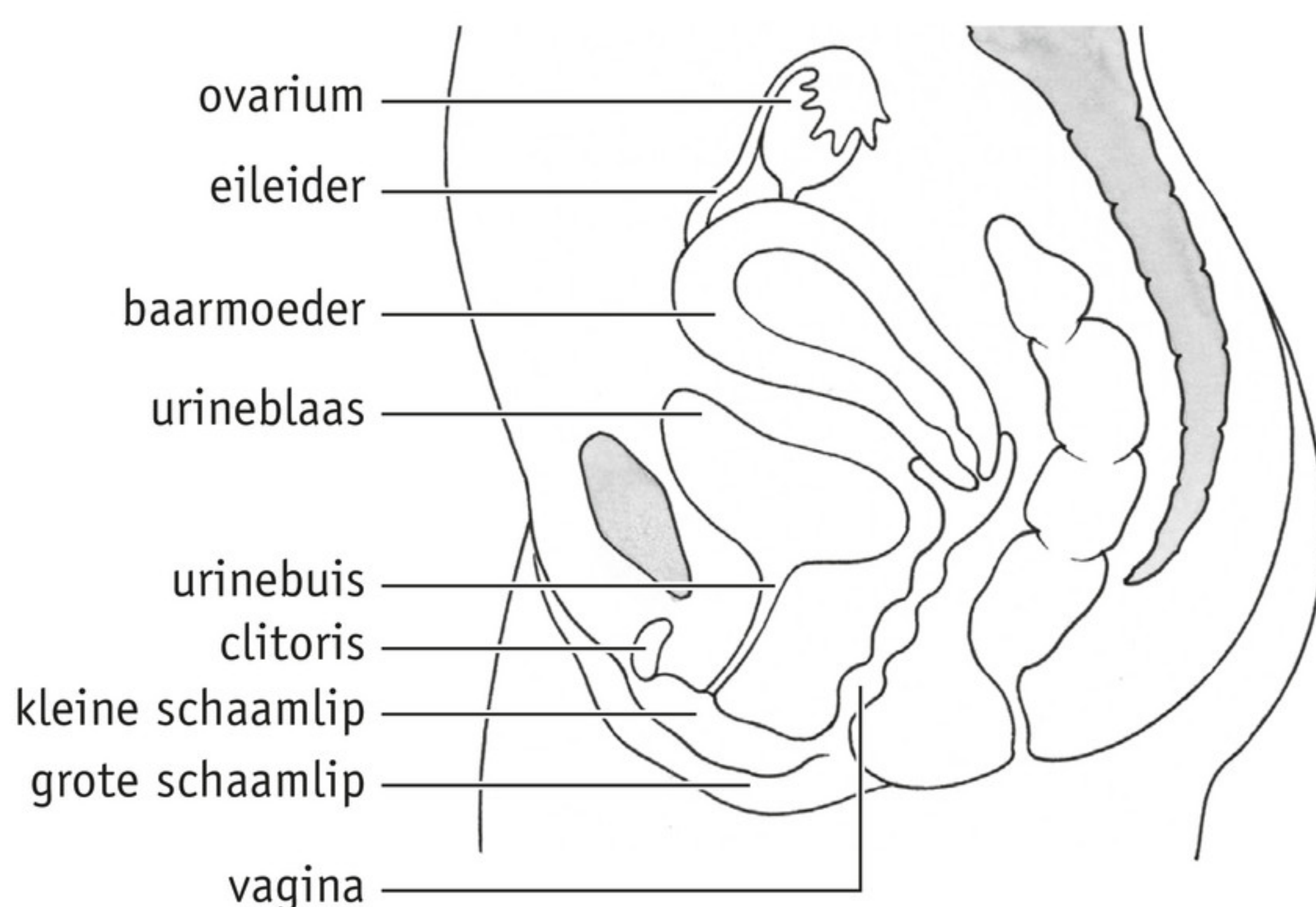
- Delen van het voortplantingsstelsel van de man, zie afbeelding 1.

▼ Afb. 1 Het mannelijk voortplantingsstelsel.



- Delen van het voortplantingsstelsel van de vrouw, zie afbeelding 2.

▼ Afb. 2 Het vrouwelijk voortplantingsstelsel.



LEERDOEL 6 ►► BASISSTOF 3

Je kunt de werking van de hormoonklieren en hormonale regeling van de voortplanting van de mens beschrijven en toelichten.

- Hormoonklieren geven hormonen af aan het bloed.
 - Hormonen zijn chemische stoffen die processen in het lichaam regelen.
- Geslachtshormonen: stoffen die via het bloed de werking van de voortplantingsorganen regelen.
 - Mannelijk geslachtshormoon: testosteron.
 - Vrouwelijk geslachtshormoon: oestrogeen.
- De hypothalamus is een deel van de hersenen direct boven de hypofyse.
 - De hypothalamus geeft releasing hormonen (RH) af die de werking van de hypofyse beïnvloeden, o.a. GnRH (gonadotropine releasing hormoon).
- De hypofyse geeft o.a. de hormonen FSH en LH af aan het bloed.
 - GnRH beïnvloedt de afgifte van FSH en LH.
- FSH (follikelstimulerend hormoon).
 - Bij vrouwen: stimuleert de follikelgroei en de afgifte van oestrogeen.
 - Bij mannen: stimuleert de vorming van zaadcellen.
- LH (luteïniserend hormoon).
 - Bij vrouwen: beïnvloedt de ovulatie en het ontstaan en in stand houden van het gele lichaam.
 - Bij mannen: stimuleert de afgifte van testosteron door de testes.
- Menstruatiecyclus: vrouwelijke reproductiecyclus met vierwekelijkse terugkeer van de menstruatie.
 - Begint op de eerste dag van de menstruatie (= veertien dagen na de ovulatie).
 - In de periode tot de ovulatie produceert de hypofyse FSH en LH.
 - Halverwege de menstruatiecyclus: ovulatie (eisprong).
 - Onder invloed van LH neemt een rijpe follikel veel vocht op en barst open.
 - Na de ovulatie blijft onder invloed van LH het gele lichaam in stand en produceert oestrogeen en progesteron.
 - Aan het eind van de menstruatiecyclus verdwijnt het gele lichaam door gebrek aan LH en wordt het baarmoederslijmvlies afgestoten (menstruatie).
- Een stof kan zijn eigen aanmaak remmen of de aanmaak van een andere stof stimuleren.

LEERDOEL 7 ►► BASISSTOF 4**Je kunt de ontwikkeling van zygote tot volgroeide baby toelichten.**

- In een eileider begint de ontwikkeling van zygote tot embryo.
 - De zygote ondergaat klievingsdelingen (delingen zonder groei).
 - Morula: klompje cellen na de klievingsdelingen.
 - Blastula: klompje cellen dat in de baarmoeder aankomt.
- Innesteling (ongeveer zeven dagen na de ovulatie).
 - Het embryoblast groeit in het baarmoederslijmvlies.
 - De buitenste laag (trofoblast) zorgt voor innesteling en vormt het buitenste vruchtvlies (chorion).
 - Het embryo ontwikkelt zich uit de laag cellen tussen de amnionblast en de dooierzak.
 - De amnionblast vormt het binnenste vruchtvlies (amnion).
 - Het vruchtwater beschermt het embryo tegen schokken en tegen uitdroging.
 - Uitstulpingen van het chorion en holten van het baarmoederslijmvlies vormen de placenta.
 - De placenta vormt o.a. het hormoon HCG (humaan choriongonadotropine) waardoor het gele lichaam in stand blijft.
 - Het gele lichaam vormt progesteron waardoor geen nieuwe eicellen tot ontwikkeling komen.
- In de placenta vindt uitwisseling van stoffen plaats door diffusie en actief transport.
 - De navelstreng bevat bloedvaten en verbindt het embryo met de placenta.
 - Voedingsstoffen en zuurstof gaan van het bloed van de moeder naar het bloed van het embryo.
 - Afvalstoffen gaan van het bloed van het embryo naar het bloed van de moeder.
 - Ook ziekteverwekkers, sommige geneesmiddelen, alcohol, nicotine en drugs kunnen door de vliezen in de placenta heen.
- Foetus: vanaf de achtste week na de bevruchting.
- Celdifferentiatie: uit stamcellen ontstaan gespecialiseerde cellen.
 - Alle cellen van een organisme bevatten hetzelfde DNA, maar in verschillende cellen zijn verschillende delen van het DNA actief.
 - Apoptose: geprogrammeerde celdood.

LEERDOEL 8 ►► BASISSTOF 4**Je kunt fasen van de geboorte toelichten.**

- Indaling.
 - Door samentrekkingen van de baarmoederwand komt het hoofdje van de foetus in de bekkenholte te liggen.

- Ontsluiting.
 - Door weeën (samentrekkingen van de baarmoeder) worden de baarmoederhals en de baarmoedermond wijder.
 - Tijdens de ontsluiting breken vaak de vruchtvliezen.
- Uitdrijving.
 - Door persweeën komt het kind ter wereld.
- Nageboorte.
 - De placenta, de resten van de navelstreng en de vruchtvliezen worden uitgedreven.

LEERDOEL 9 ►► BASISSTOF 5**Je kent de ontwikkelingen tijdens puberteit en adolescentie.**

- Puberteit is de periode waarin het lichaam volwassen wordt.
 - De puberteit loopt gemiddeld van 10 tot 17 jaar.
- Adolescentie is de periode waarin een mens geestelijk volwassen wordt.
 - De adolescentie loopt van (het einde van) de puberteit tot 20–25 jaar.
 - Tijdens de adolescentie wordt een mens zelfstandig.
- Tijdens de puberteit ontwikkelen zich de secundaire geslachtskenmerken.
 - Er treden lichamelijke veranderingen op en veranderingen in gedrag.

LEERDOEL 10 ►► BASISSTOF 5**Je kunt seksualiteit toelichten en een mening geven over verschillende vormen van seksualiteit.**

- Seksualiteit zijn gedachten, gevoelens en handelingen die te maken hebben met seks.
- Seksualiteit speelt een rol bij het vormen en onderhouden van een relatie.
 - In verschillende culturen wordt verschillend met seksualiteit omgegaan.
 - Seksualiteit kan gericht zijn op iemand van de andere sekse (heteroseksualiteit), op iemand van dezelfde sekse (homoseksualiteit) of op beide (biseksualiteit).
- Gender: geheel van psychologische, culturele en sociale kenmerken van een sekse.
 - Genderdysforie (transgender): iemand voelt zich anders dan het geslacht waarmee hij of zij is geboren.
- Seksueel geweld: iemand dwingt een andere persoon tot seksueel contact.
 - Bijv. loverboys (of -girls), grooming.
- Seksueel misbruik: seksuele handelingen vinden plaats zonder de instemming van de ander of de ander kan vanwege leeftijd, afhankelijkheid of geestelijke gezondheid niet duidelijk maken dat de handelingen ongewenst zijn.
 - Bijv. aanranding, verkrachting, incest.

LEERDOEL 11 ►► BASISSTOF 6**Je kunt de risico's op infectie met seksueel overdraagbare aandoeningen toelichten.**

- Een soa (seksueel overdraagbare aandoening) is een infectieziekte.
 - Soa's worden overgedragen via sperma, bloed, vaginaal vocht en bij contact van slijmvliesen.
- Veilig vrijen: maatregelen nemen om de kans op een soa te verkleinen.
- Voorbeelden van soa's:
 - Chlamydia, gonorroe en syfilis zijn te behandelen met antibiotica.
 - Aids en herpes genitalis zijn niet te genezen.
- Aids wordt veroorzaakt door hiv.
 - Iemand die niet ziek is maar wel met hiv is besmet, wordt seropositief genoemd.
- Met een soatest wordt onderzocht of je een soa hebt.

LEERDOEL 12 ►► BASISSTOF 6**Je kent methoden om zwangerschap te voorkomen en hun voor- en nadelen.**

- Anticonceptie: voorkomen van zwangerschap.
- Voorbehoedmiddelen: hulpmiddelen bij het voorkomen van zwangerschap.
- Hormonale regulatie, bijv. anticonceptiepil, prikpil, anticonceptiestaafe, hormoonpleister en anticonceptiering.
 - De anticonceptiepil is het meest gebruikte voorbehoedmiddel.
 - De pil bevat hormonen die in werking overeenkomen met progesteron en oestrogeen. Daardoor worden eicelrijping en ovulatie onderdrukt.
 - De anticonceptiepil is betrouwbaar en gemakkelijk in het gebruik.
- Een condoom voorkomt dat zaadcellen in de vagina komen.
 - Een condoom beschermt ook tegen soa's.
 - Een condoom is betrouwbaar bij juist gebruik.
- Een spiraaltje voorkomt innesteling.
 - Wordt door een arts in de baarmoeder geplaatst.
 - Is betrouwbaar bij juist gebruik.
- Sterilisatie: onderbreken van de zaadleiters bij de man en eileiders bij de vrouw.
 - Sterilisatie is een definitieve anticonceptiemethode.
 - Sterilisatie is erg betrouwbaar.
- Periodieke onthouding: geen geslachtsgemeenschap tijdens de vruchtbare periode.
 - Vruchtbare periode: van ongeveer drie dagen voor tot één dag na de ovulatie.
 - Temperatuurmeting: de lichaamstemperatuur stijgt licht tijdens de ovulatie.
 - Bij juist gebruik is periodieke onthouding met temperatuurmeting betrouwbaar.

LEERDOEL 13 ►► BASISSTOF 7**Je kunt oorzaken noemen van verminderde vruchtbaarheid.**

- Oorzaken van verminderde vruchtbaarheid.
 - Leeftijd: vooral bij vrouwen neemt de vruchtbaarheid na het dertigste levensjaar af.
 - Leefstijl: voeding, alcoholgebruik, roken, bepaalde geneesmiddelen, straling en gevaarlijke stoffen.
 - Infecties zoals soa's.
 - Hormoonstoornissen.

LEERDOEL 14 ►► BASISSTOF 7**Je kunt standpunten over het ingrijpen in het voortplantingsproces door middel van ivf en ki toelichten.**

- Kunstmatige inseminatie (ki): zonder geslachtsverkeer inbrengen van zaadcellen in de baarmoeder.
 - IUI (intra-uteriene inseminatie): sperma wordt direct in de baarmoeder gespoten.
- In-vitrofertilisatie (ivf): bevruchting vindt buiten het lichaam plaats.
 - Bij ICSI (intracytoplasmatische sperma-injectie) wordt een zaadcel in de eicel geïnjecteerd.
- Cryopreservatie: het invriezen van biologisch materiaal zoals eicellen, embryo's en zaadcellen.

COMPETENTIES/VAARDIGHEDEN

Je hebt de volgende vaardigheden geoefend:

- doelgericht zoeken, selecteren en verwerken van informatie;
- analyseren welke rol voortplanting heeft in natuurwetenschappelijk onderzoek, beroepen en de dagelijkse praktijk;
- geven van een beargumenteerde mening;
- herkennen en gebruiken van biologische en ethische argumenten;
- vorm-functiedenken op de niveaus van moleculen, cellen en organen.

Examentrainer

EENDAGSHAANTJES

Naar: examen vwo 2011-1, vraag 4, 5, 6 en 7.

In de Nederlandse pluimveehouderij worden jaarlijks tientallen miljoenen eendagshaantjes gedood. Bij legrassen zijn de haantjes namelijk niet in tel. Ze zijn ook niet geschikt om tot slachtkuiken uit te laten groeien. De eendagshaantjes worden daarom gedood en tot diervoer verwerkt of als prooidieren verkocht aan dierentuinen. Er wordt onderzoek gedaan naar manieren om dit te voorkomen. Bijvoorbeeld door te bewerkstelligen dat er geen of veel minder haantjes uitkomen. Een andere mogelijkheid is een vroege geslachtsbepaling van versgelegde eieren. Alleen de 'vrouwelijke' eieren (eieren met een vrouwelijk embryo) gaan dan de broedmachine in. Net als bij de mens wordt het geslacht bij hoenders bepaald door de geslachtschromosomen. Anders dan bij de mens is bij hoenders het vrouwtje het heterogamete geslacht (met geslachtschromosomen Z en W) en het mannetje het homogamete geslacht (met twee Z-geslachtschromosomen).

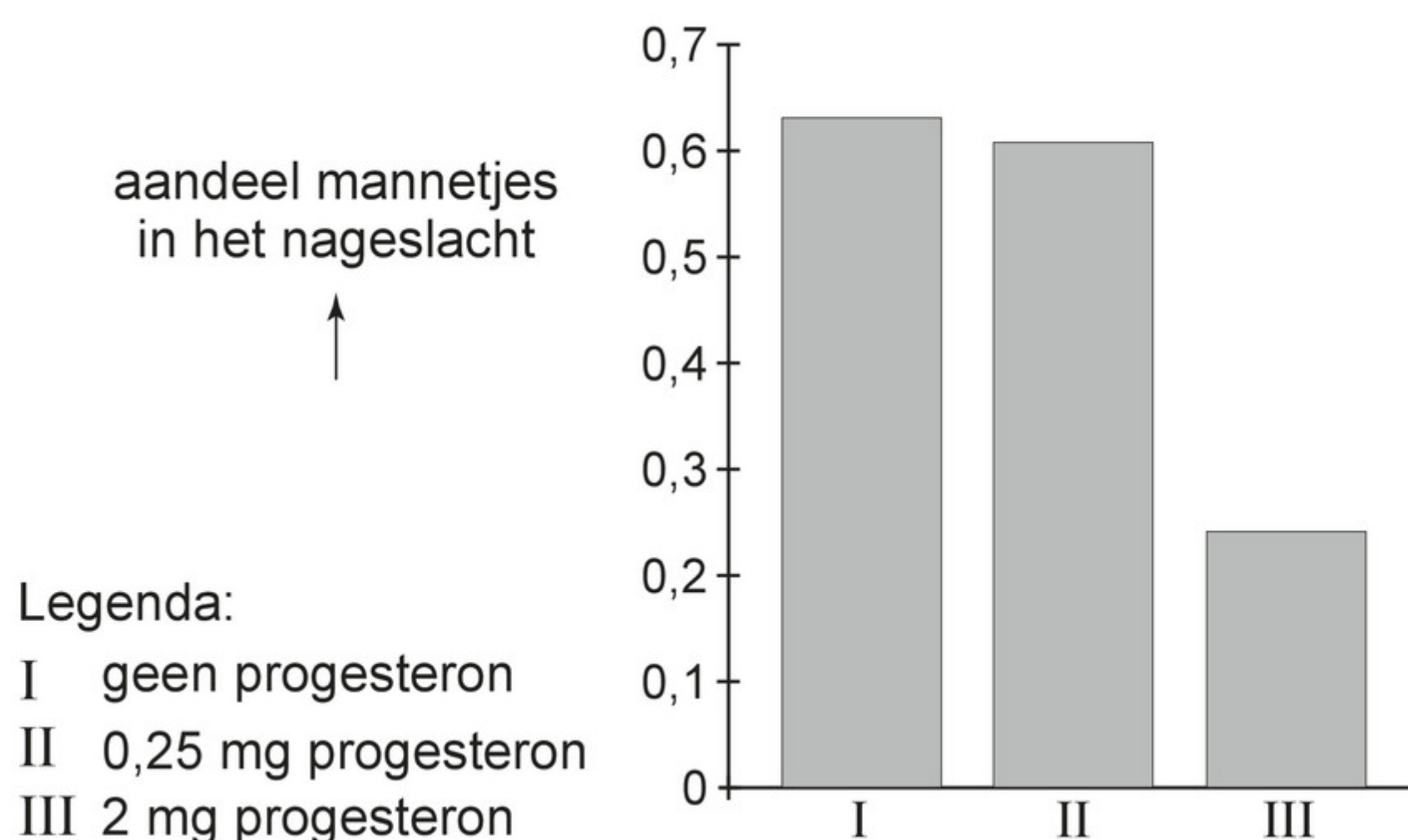
Het is in theorie mogelijk om het ontstaan van haantjes onder de nakomelingen selectief tegen te gaan, door te voorkomen dat bepaalde gameten worden gevormd.

- 2p 1 Van welke gameten dient hiertoe de vorming te worden voorkomen?
- A alleen van eicellen met het W-chromosoom
 - B alleen van eicellen met het Z-chromosoom
 - C alleen van spermacellen met het Z-chromosoom
 - D van eicellen en spermacellen met het Z-chromosoom

Recent onderzoek laat zien dat het bij hoenders mogelijk is om met behulp van hoge doses progesteron het percentage mannetjes onder de nakomelingen te verlagen. De hennen werden geïnjecteerd met verschillende doses in olie opgelost progesteron.

In afbeelding 1 zijn de resultaten van dit experiment weergegeven.

▼ Afb. 1



Uit de gegevens in afbeelding 1 kan worden afgeleid hoe groot onder natuurlijke omstandigheden de sekseratio (mannetjes/vrouwtjes) bij de nakomelingen van deze hennen is.

- 2p 2 Wat is de sekseratio onder natuurlijke omstandigheden?
- A kleiner dan 1
 - B ongeveer gelijk aan 1
 - C groter dan 1
- 1p 3 Welke behandeling moeten de hennen uit de controle-groep ondergaan?

De onderzoekers veronderstellen dat de toegediende hoge dosis van 2 mg progesteron in de hen invloed heeft op het verloop van de meiose. Door een veranderde structuur van de spoelfiguur gaan tijdens de meiose de twee geslachtschromosomen niet willekeurig uiteen en zou een van de geslachtschromosomen vaker in een poollichaampje terechtkomen.

- 2p 4 Tijdens welk deel of tijdens welke delen van de meiose heeft de hoge dosis progesteron dit effect dan?
- A alleen tijdens meiose I
 - B alleen tijdens meiose II
 - C zowel tijdens meiose I als tijdens meiose II

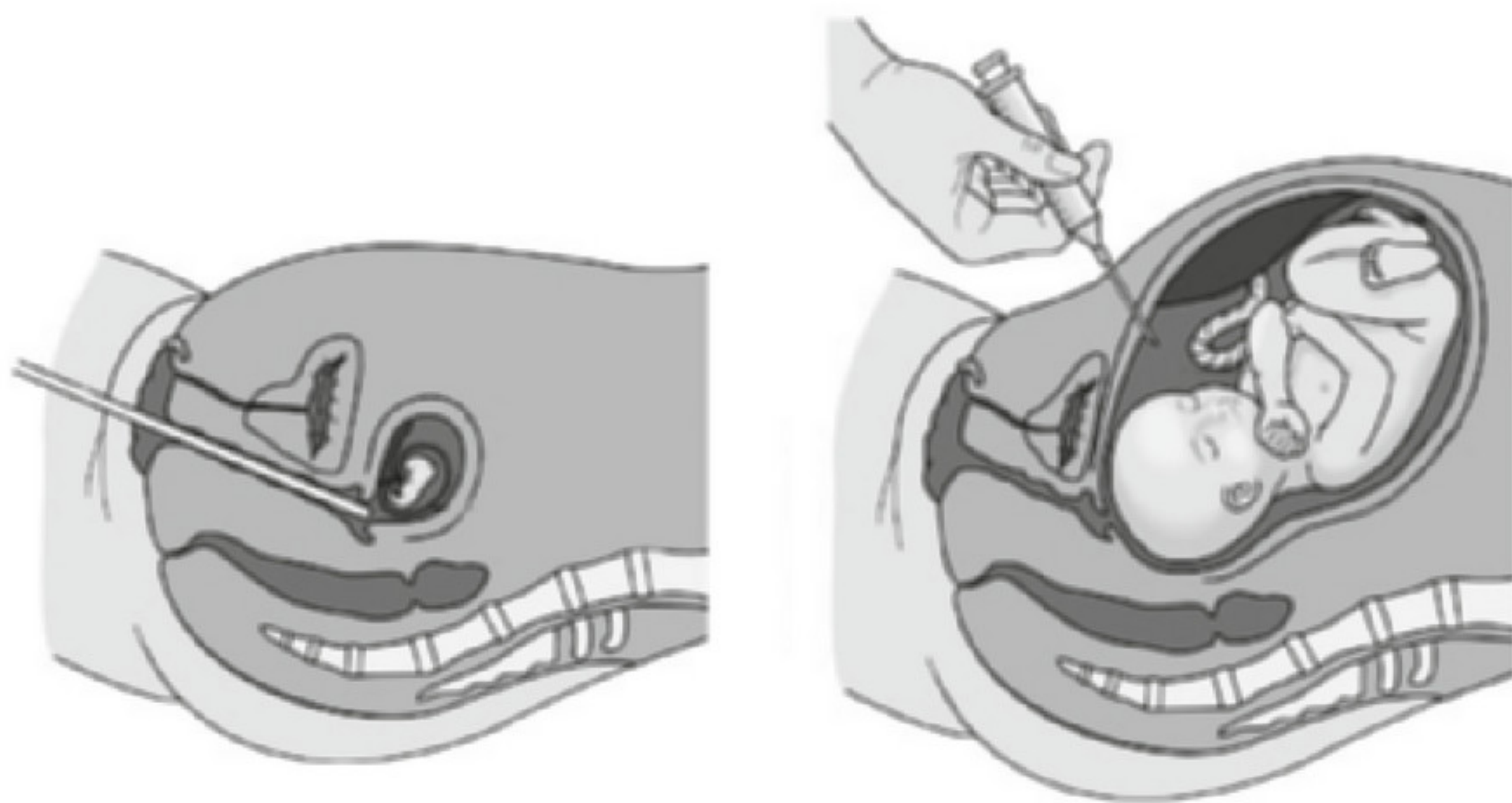
ZIEKTE VAN HUNTINGTON

Naar: examen vwo 2009-2, vraag 33 en 34.

Jarenlang hebben onderzoekers op een klein stukje van chromosoom 4 gezocht naar het gen dat is veranderd bij de ziekte van Huntington.

Behalve de DNA-test na de geboorte is er ook een prenatale test mogelijk. Bij een vlokcentest wordt met behulp van een echoscoop de plaats bepaald van waaruit, via de buikwand of via de vagina, met een holle naald (katheter) wat chorionweefsel wordt opgezogen. Deze test kan plaatsvinden vanaf de tiende week van de zwangerschap. Bij een vruchtwaterpunctie wordt wat vruchtwater opgezogen via de buikwand of via de vagina. Deze test wordt meestal in de zestiende of zeventiende week van de zwangerschap uitgevoerd. In afbeelding 2 zijn beide methoden weergegeven.

▼ Afb. 2



1 vlokcentest

2 vruchtwaterpunctie

De prenatale test moet worden uitgevoerd door een arts met voldoende ervaring in deze techniek vanwege het risico op een miskraam: 1 tot 2% van de gevallen bij een vlokcentest en rond 0,5% bij een vruchtwaterpunctie. Hiermee moet dus rekening worden gehouden bij het beslissen voor een prenatale test.

- 1p 5 Noteer nog een consequentie waarmee rekening moet worden gehouden bij het nemen van de beslissing over het al of niet uitvoeren van een prenatale test.
- 2p 6 Leg uit waarom een vlokcentest vroeg in de zwangerschap wordt uitgevoerd. Leg ook uit waarom de vruchtwaterpunctie pas later kan worden toegepast.

3

Genetica

Genetica of erfelijkheidsleer is de wetenschap die bestudeert hoe eigenschappen kunnen worden doorgegeven van ouders aan nakomelingen. In dit thema leer je de manieren waarop erfelijke eigenschappen kunnen overerven en ga je erfelijkheidsvraagstukken oplossen. Een voorbeeld van zo’n vraagstuk is: ‘Als de vader en de moeder beiden zwart haar hebben, kan het kind dan blond haar hebben?’

ONTDEKKEN	
Een gouden missie	126
BASISSTOF	
1 Fenotype en genotype	128
2 Genenparen	133
3 Monohybride kruisingen	140
4 Geslachtschromosomen	149
5 Dihybride kruisingen	155
6 Speciale manieren van overerven	162
7 Opvoeding of aanleg	166
SAMENHANG	
Hoogtebestendige Tibetanen	170
PRACTICA	172
SAMENVATTING	174
EXAMENTRAINER	178







Een gouden missie

►► BASISSTOF 6 EN 7

Met Anky van Grunsven, meervoudig Olympisch kampioen amazone, heeft Nederland een grote traditie in de paardensport. Maar om dressuurwedstrijden te blijven winnen, heeft Nederland een toppaard nodig. Met slimme kruisingen kun je ervoor zorgen dat Nederland een goede opvolger krijgt van Totilas, het beste paard ooit.

Om kans te maken op de Olympische Spelen van 2028 investeert Nederland via het NOC-NSF veel geld in de sport. Een van de speerpunten is de paardensport. In het verleden is erg goed gescoord bij het onderdeel dressuur. De amazone Anky van Grunsven is zelfs de meest succesvolle Olympiër aller tijden. Individueel won ze maar liefst drie keer goud en één keer zilver voor Nederland. En met het landenteam haalde ze nog eens vier Olympische medailles tussen 1992 (Barcelona) en 2012 (Londen). Wat dat betreft kun je als dressuurruiter lang aan topsport doen. Dat geldt niet voor de toppaarden. Die halen zelden meer dan twee Olympische Spelen. Bovendien kunnen de beste paarden worden weggekocht en voor een ander land uitkomen.

Zo werd de hengst Totilas – de gedoodverfde kampioen voor de Olympische Spelen in Londen – eind 2010 voor een recordbedrag aan Duitsland verkocht en liep Nederland een gouden medaille mis.

Als Nederland in 2028 in de paardensport veel medailles wil halen, zou het geen gek idee zijn om nu met een fokprogramma voor dressuurpaarden te starten. Met het geld van de investeerders, de nieuwste vruchtbaarheids-technieken en de kennis van paardenfokkerij in Nederland moet het mogelijk zijn dat de Olympische ploeg in 2028

beschikt over een stel paarden van absolute wereldklasse. Welk paard is de opvolger van Totilas?

Hoe fok je een topper?

‘Het is een hele uitdaging om het perfecte toppaard te fokken,’ aldus een paardenfokker. ‘Het KWPN berekent fokwaarden van hengsten en merries. Fokwaarden zijn schattingen van de genetische aanleg bijvoorbeeld voor de paardensport en ook voor het uiterlijk. Ik vertel je eerst wat meer over het ontstaan van de vachtkleur (zie afbeelding 1).

‘Ook als kwakje sperma blijkt Totilas een vermogen waard.’

Eenvoudig uitgelegd is het als volgt: Bij het ontstaan van de vachtkleur (fur) zijn verschillende allelen betrokken:

- f zorgt voor een zwarte vacht;
- F^a zorgt voor een bruine vacht;
- F^A zorgt voor een roodachtige kleur; de voskleur.

Allel F^A is dominant over allel F^a en is ook dominant over allel f . Allel F^a is alleen dominant over allel f . Natuurlijk is de kleur van de vacht niet het allerbelangrijkst, maar het laat wel zien hoe ingewikkeld het is!

opdrachten

Jij bent een van de jonge getalenteerde dressuurruiters die in de toekomst op de nieuwe 'Totilas' zal gaan rijden. Samen met een collega mag je meedenken over het perfecte paard waar je successen mee zou kunnen behalen. Elke prestatie van een paard is een optelsom van genetische aanleg en milieufactoren, zoals training, gezondheid, voeding en de ruiter. In de paardenfokkerij gaat het om aanleg. Fokkers van KWPN-paarden (Koninklijk Warmbloed Paardenstamboek Nederland) maken een match door de eigenschappen van merries en hengsten bij elkaar te zoeken om perfecte nakomelingen te krijgen voor de paardensport.

- 1 Welke eigenschappen zijn belangrijk voor jullie perfecte dressuurpaard? Omschrijf zo gedetailleerd mogelijk het fenotype van het perfecte dressuurpaard. Gebruik hierbij eventueel een bron op internet. Denk aan bouw, schofthoogte (stokmaat), karakter, beweging en vachtkleur. Welke naam krijgt jullie paard?
- 2 De fokker legt uit hoe vachtkleuren ontstaan. Welke genotypen zijn mogelijk bij een zwarte, bruine en voskleur?
- 3 In de paardenfokkerij dekt één bepaalde hengst vaak verschillende merries. De zwarte hengst Dream Boy is een perfecte dekhengst en heeft voor veel nakomelingen gezorgd die geschikt zijn voor de dressuursport.
 - a Welke genotypen van de vachtkleur hebben Dream Boy, zijn ouders en grootouders? Maak een stamboom van de genotypen.
 - b Welke vachtkleur zal Renate hebben volgens de uitleg van de fokker? Leg je antwoord uit.

▼ Afb. 1 Vachtkleuren bij paarden.



1 zwart



2 bruin



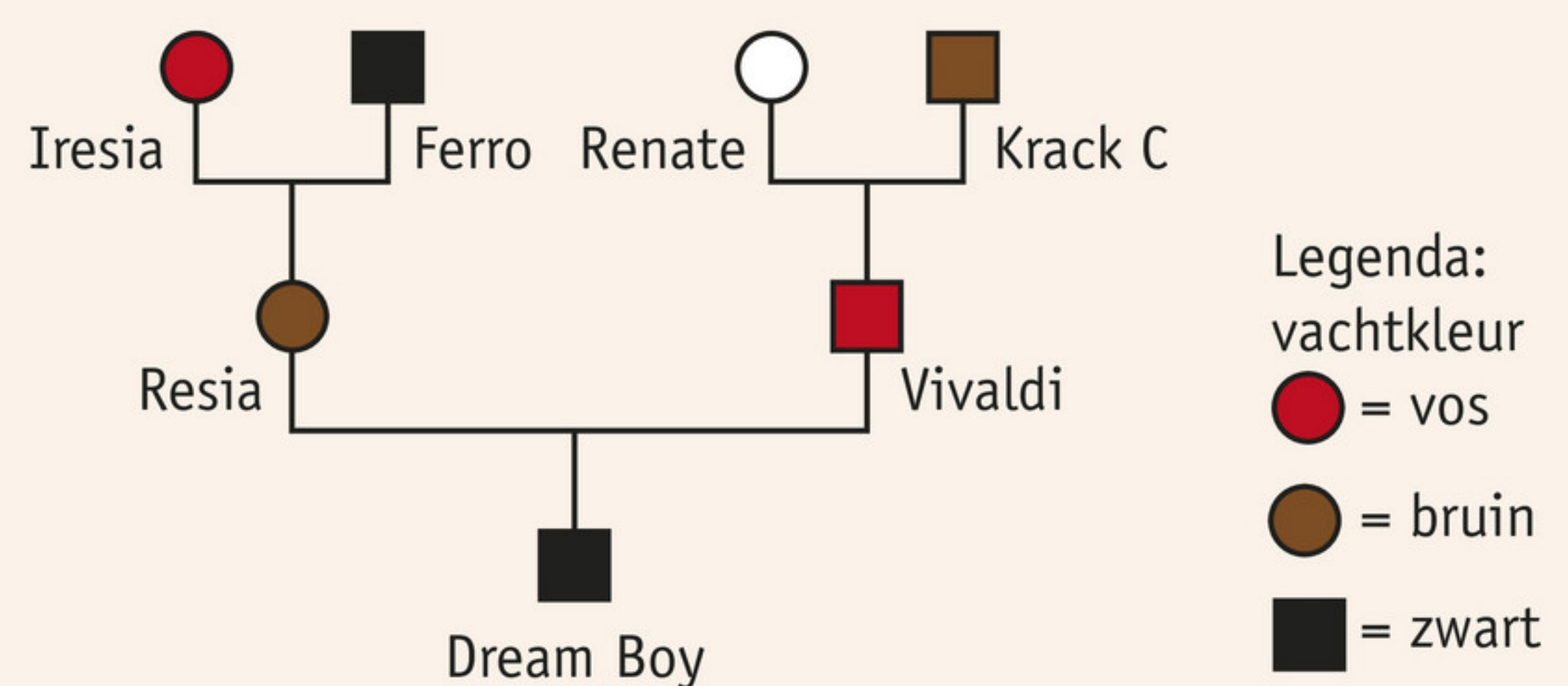
3 vos

- 4 Dreamboy zal de vader zijn van jullie paard. De fokkers van KWPN hebben alvast een aantal goede merries uitgezocht:

- Danilinda (zwart) met vader Wynton (zwart) en moeder Vannilinda (zwart)
- Gabbana (vos) met vader Bretton Woods (zwart) en moeder Naara (vos)
- Tikita (bruin) met vader Havidoff (bruin) en moeder Nikita (bruin)
- Zetha (vos) met vader Don Primaire (bruin) en moeder Ezetha (vos)

Welke merrie is het meest geschikt om de gewenste vachtkleur bij jullie paard te krijgen? Maak een kruisingsschema en beargumenteer jullie keuze.

▼ Afb. 2 Stamboom van dekhengst Dream Boy.



Bij de keuze voor een merrie kijken jullie naast de vachtkleur natuurlijk ook naar andere erfelijke eigenschappen. Sperma van Dream Boy is bij de meest geschikte merrie geïnsemineerd en na bijna twaalf maanden komt het veulen ter wereld.

Om met jullie topdressuurpaard in 2028 een medaille te winnen, is veel nodig. Waar houdt je rekening mee? Wat kun je vanaf de geboorte doen om het beste uit het paard te halen en het klaar te stomen voor een perfecte dressuurproef? Welke epigenetische factoren spelen een rol?

- 5 Maak voor het maandblad *Hoefslag* een artikel van maximaal vijfhonderd woorden waarin jullie het nieuwe toppaard voorstellen aan Nederland. Beschrijf hierin hoe de komende jaren er voor jullie en je paard uit gaan zien en zorg voor enkele bijpassende afbeeldingen. Gebruik bronnen op internet of interview indien mogelijk iemand die werkt bij een paardenfokkerij (stoeterij).

Leerdoelen

- Je kunt omschrijven wat het fenotype en wat het genotype van een organisme is.
- Je kunt omschrijven wat DNA-sequentie en genexpressie betekenen.
- Je kunt uitleggen dat een fenotype tot stand komt door de combinatie van genotype en de invloed van milieufactoren.

1 Fenotype en genotype

Over een pasgeboren baby hoor je vaak: ‘Ik vind dat hij op zijn moeder lijkt’, of: ‘Hij heeft de ogen van zijn vader’. Niet alle eigenschappen van een kind zijn afkomstig van de ouders. Welke eigenschappen zijn erfelijk en welke niet?

FENOTYPE EN GENOTYPE

Elk organisme lijkt in meer of mindere mate op de ouders. Een pasgeboren baby bijvoorbeeld heeft eigenschappen van de vader en de moeder. Maar de baby kan ook eigenschappen hebben die bij de vader en de moeder niet zichtbaar zijn. Alle waarneembare eigenschappen van een individu noem je het **fenotype**. Hierbij horen eigenschappen zoals haarkleur, oogkleur en lichaamsgeur, maar ook eigenschappen zoals bloedgroep en kleurenblindheid.

De informatie voor erfelijke eigenschappen ligt op de **chromosomen**. Erfelijke eigenschappen worden doorgegeven van de ouders aan de nakomeling via de chromosomen in een zaadcel en een eicel. De chromosomen in de zaadcel bevatten de informatie voor een aantal erfelijke eigenschappen afkomstig van de vader. De chromosomen in de eicel bevatten de informatie voor een aantal erfelijke eigenschappen afkomstig van de moeder. Bij de bevruchting komt deze informatie bij elkaar. Vanaf dat moment ligt vast welke erfelijke eigenschappen een nakomeling heeft gekregen van de vader en welke van de moeder. De informatie voor alle erfelijke eigenschappen van dat individu noem je het **genotype**.

CHROMOSOMEN

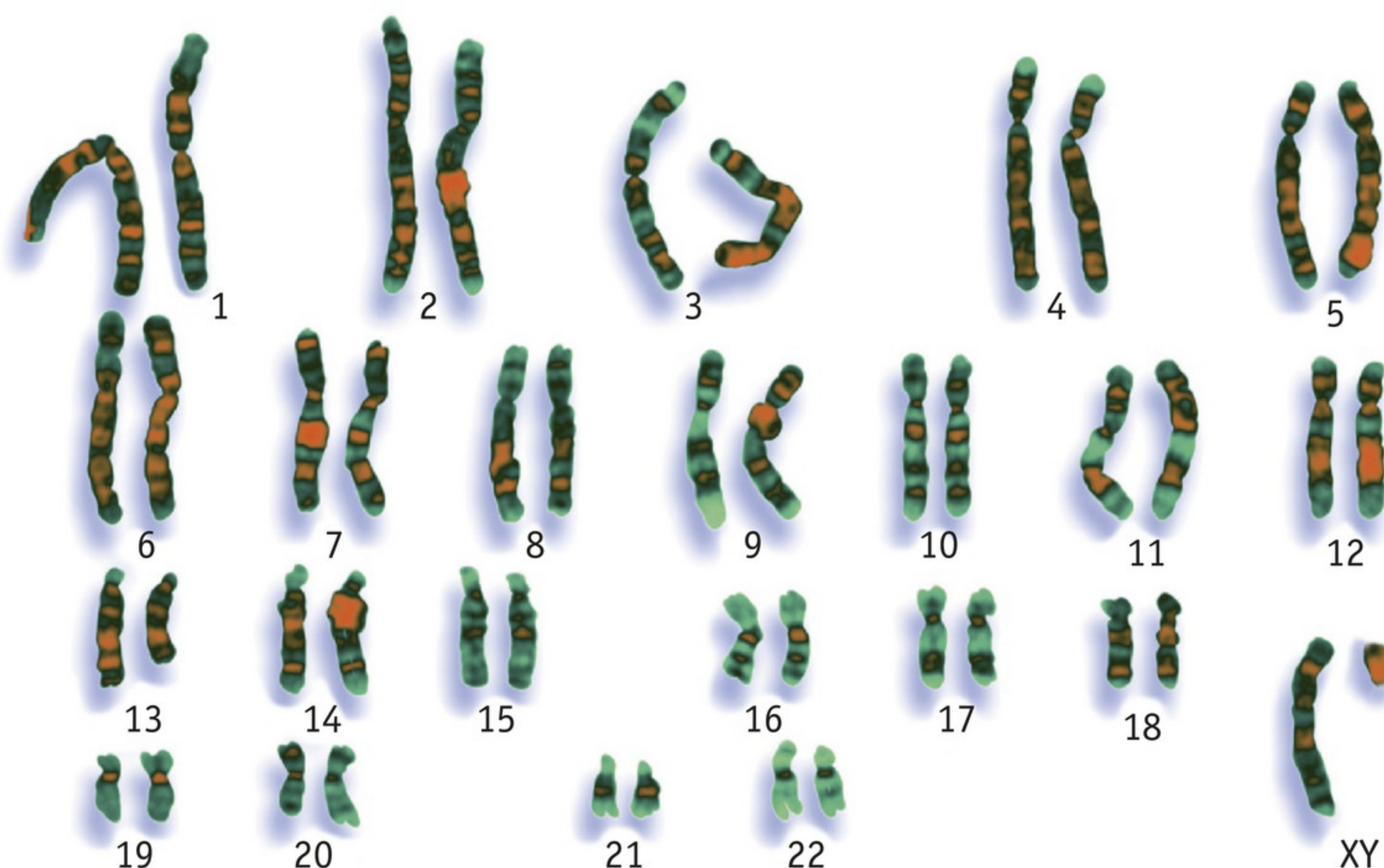
Chromosomen zijn langgerekte dunne ‘draden’ in de celkern. In de meeste cellen zijn chromosomen niet te zien met een lichtmicroscop. Alleen bij delende cellen zijn chromosomen zichtbaar.

In afbeelding 1 zijn de 46 chromosomen van een man naar grootte in **paren** gerangschikt. Deze rangschikking van chromosomen in een cel heet een **karyotype**.

Dit wordt ook wel een chromosomenportret of **karyogram** genoemd. Er kunnen 22 gelijke chromosomenparen worden gevormd. Deze chromosomenparen noem je **autosomen**. Doordat elk chromosoom van een chromosomenpaar gelijk is in lengte en vorm, heten twee chromosomen van zo’n paar **homologe chromosomen**.

Met het 23e chromosomenpaar kan het geslacht van een individu worden bepaald. Daarom heten deze chromosomen de **geslachtschromosomen**. Bij de man

► **Afb. 1** Chromosomen van een man.

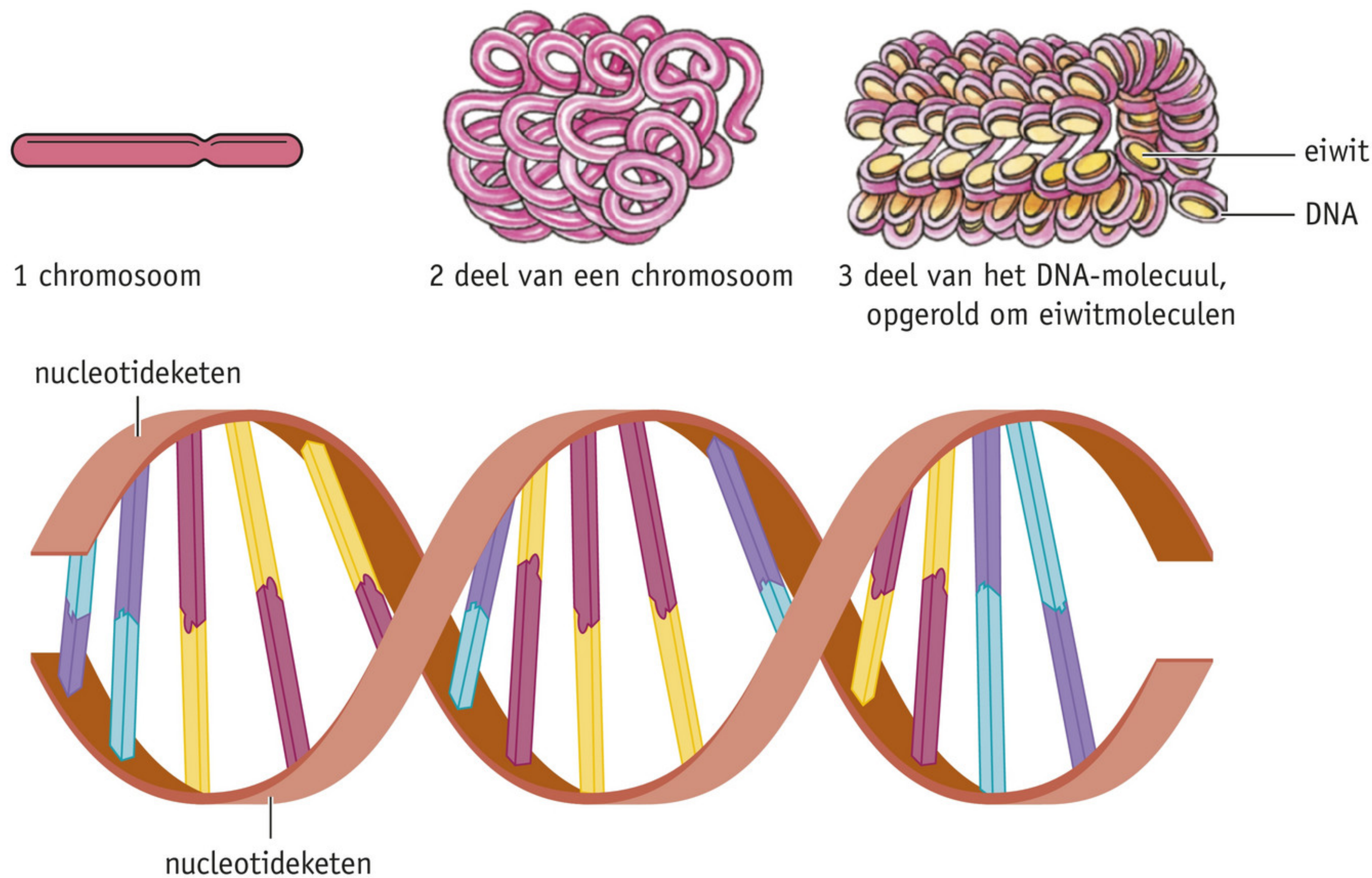


GENEN

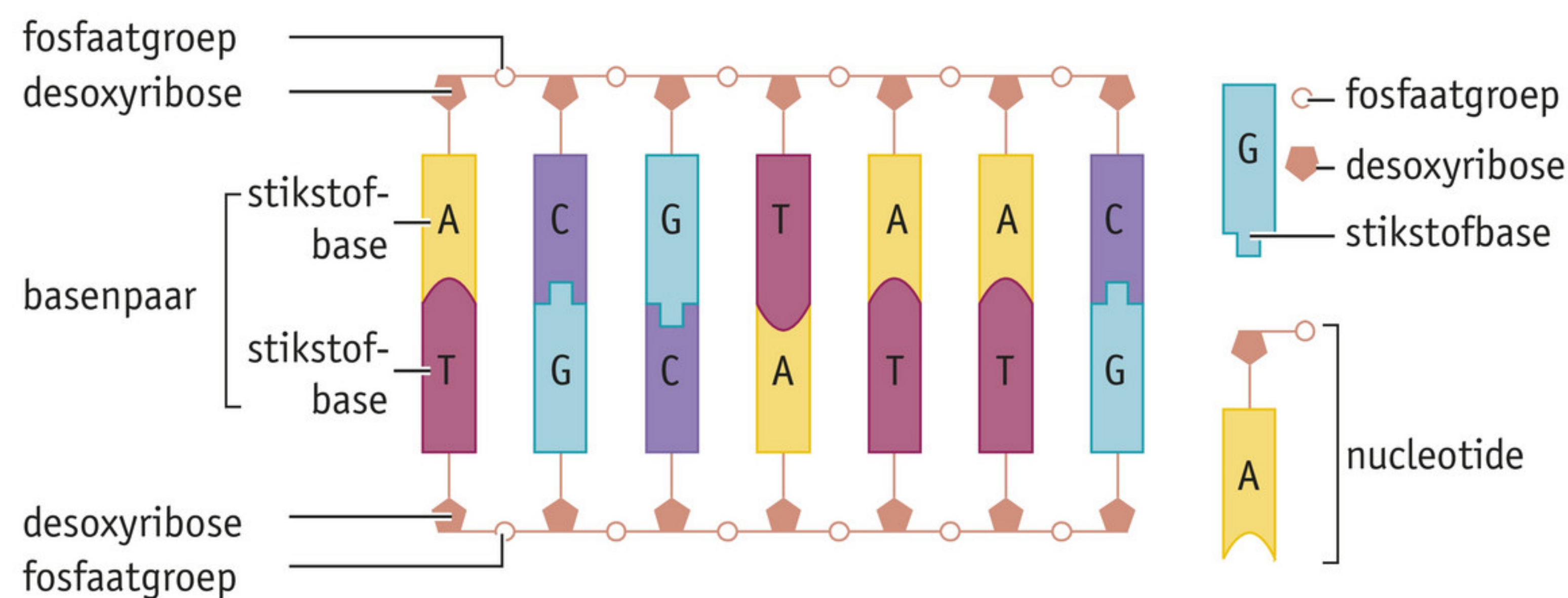
Een **gen** of erfactor is een deel van een chromosoom dat de informatie bevat voor een of meer erfelijke eigenschappen of een deel van een erfelijke eigenschap. Vaak is bij een bepaalde eigenschap meer dan één gen betrokken. Er zijn bijvoorbeeld meerdere genen betrokken bij de kleur van je ogen, je lichaamslengte en bij het ontstaan van kanker.

Een chromosoom bevat één zeer lang molecuul van de stof DNA en veel eiwitmoleculen. Het DNA-molecuul bestaat uit twee ketens die in een dubbele spiraal om elkaar heen gewonden liggen (zie afbeelding 2). DNA is opgebouwd uit vier verschillende bouwstenen: de **nucleotiden**. Een nucleotide bestaat uit een fosfaatgroep, desoxyribose en een stikstofbase. Elke keten bestaat uit vele duizenden aan elkaar gekoppelde nucleotiden.

▼ **Afb. 2** De bouw van een chromosoom met DNA (schematisch).



4 Een DNA-molecuul is opgebouwd uit twee ketens, die in een dubbele spiraal om elkaar heen liggen.



5 Een DNA-molecuul bestaat uit twee ketens van aan elkaar gekoppelde nucleotiden.

In cellen van schimmels, planten en dieren bevindt DNA zich in de kern en in mitochondriën. In een plantaardige cel komt DNA daarnaast ook voor in bladgroenkorrels. Alle DNA-moleculen in een cel noem je het **genoom** van een organisme. In een DNA-molecuul komen vier verschillende stikstofbasen voor: adenine (A), thymine (T), cytosine (C) en guanine (G). De stikstofbasen van de twee ketens zijn met elkaar verbonden. Ze vormen vaste paren, de zogenoemde **basenparing**.

Adenine is steeds met thymine verbonden, cytosine steeds met guanine. Een chromosoom bevat een groot aantal genen. Eén gen, zoals het gen voor de haarkleur, bestaat uit honderden nucleotiden. De stikstofbasen in een gen zijn in een specifieke volgorde of sequentie gerangschikt. Dit noem je **DNA-sequentie**. In deze volgorde kunnen variaties voorkomen. Zo'n variatie heet een **allel**, waarbij verschillende vormen van een gen voor een bepaalde eigenschap bestaan. Zo bevat het allel voor zwarte haarkleur een andere volgorde van stikstofbasen dan het allel voor blonde haarkleur.

Genen kunnen worden aan- en uitgezet. Als genen worden aangezet en ze komen tot uiting, spreek je van **genexpressie**. Staan genen uit, dan spreek je van **inactivatie**. Een voorbeeld: in bepaalde cellen van je hoofdhuid staan de genen aan die betrokken zijn bij de vorming van hoofdharen. Deze genen staan uit in de levercellen.

INVLOED VAN MILIEUFACTOREN EN MODIFICATIES

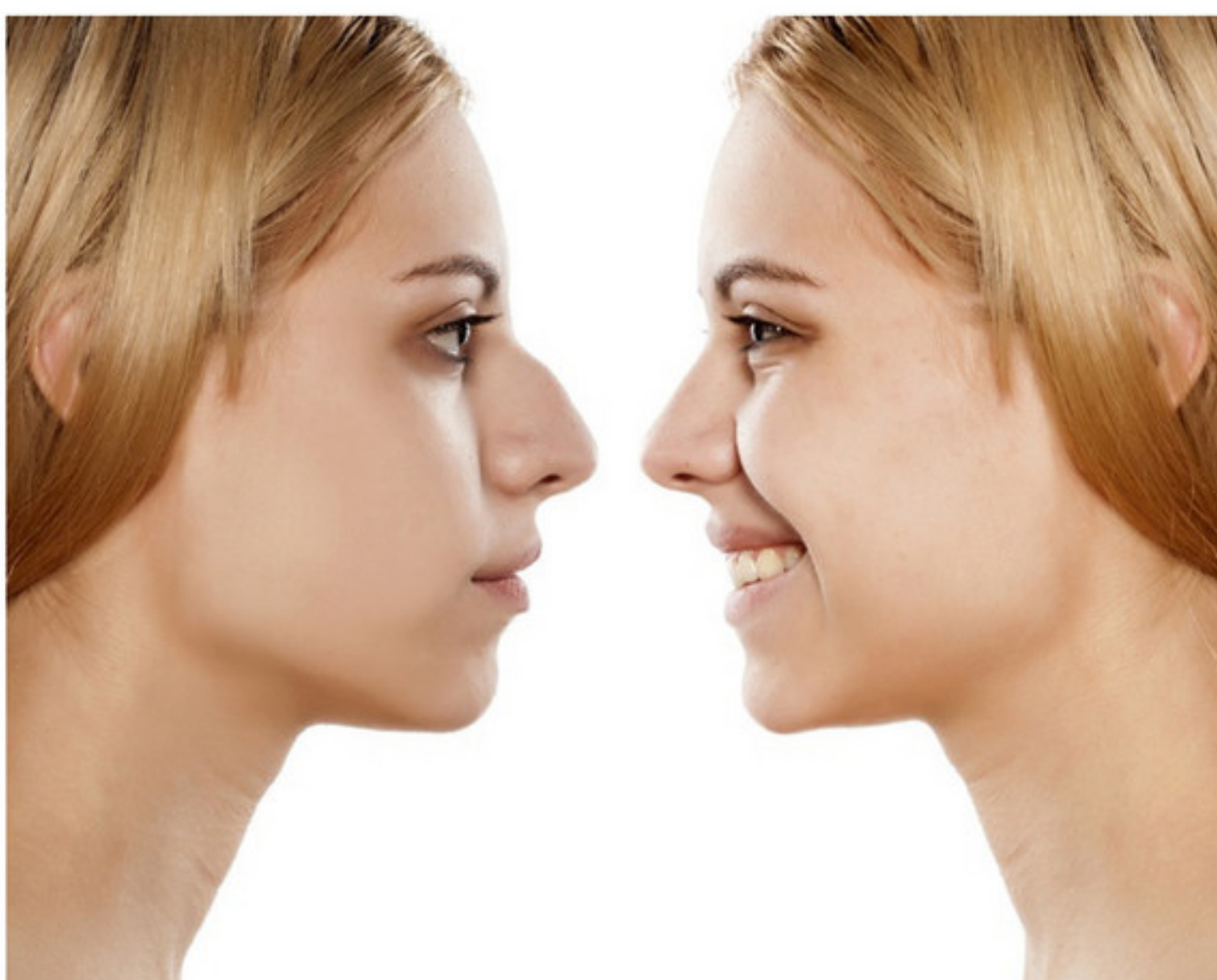
Het genotype bepaalt vele eigenschappen van een individu. Toch bepaalt het genotype niet in zijn eentje het fenotype van een individu. Het fenotype wordt bepaald door het genotype en door **milieufactoren**. Voorbeelden van milieu-factoren die het fenotype beïnvloeden zijn licht, lucht (roken, luchtvervuiling), vochtigheid, temperatuur, voeding, ziekten en opvoeding. Het fenotype van een eik bijvoorbeeld verandert als er door een storm takken van de eik afbreken. Een dergelijke verandering noem je een **modificatie**. Bij een modificatie verandert de informatie in de chromosomen niet. Een modificatie wordt dus niet doorgegeven aan nakomelingen.

De invloed van het milieu op mensen begint al in de baarmoeder. Wanneer een afwijking, aandoening of ziekte in de baarmoeder ontstaat, spreek je van een **aangeboren afwijking** of aangeboren aandoening. Als deze genetisch via de ouders wordt doorgegeven, is er sprake van een **erfelijke ziekte** of erfelijke aandoening.

opdrachten

- 1 Wat is het genotype van een individu?
- 2 Iemand kan er gelukkig of somber uitzien.
Gaat het dan om het fenotype of het genotype van deze persoon? Leg je antwoord uit.
- 3 **a** Hoeveel paar homologe chromosomen hebben mannen? Leg je antwoord uit.
b Hoeveel paar homologe chromosomen hebben vrouwen? Leg je antwoord uit.
- 4 Gebruik bij deze opdracht je *BiNaS* (tabel 70D).
Op welk chromosoom ligt het gen dat dyslexie bepaalt? En op welk chromosoom het gen dat borstkanker veroorzaakt? En albinisme?
- 5 Maak een tabel met twee kolommen. Zet boven de ene kolom 'Erfelijke eigenschappen' en boven de andere kolom 'Modificaties'.
Noteer de volgende eigenschappen in de juiste kolom: *behaarde geranium-bladeren – bladeren die naar het licht zijn gericht – blauwe ogen – een extreme make-over (zie afbeelding 3) – een huid met weinig rimpels door botoxinjecties – een huid met weinig rimpels door een jeugdige leeftijd – een litteken – rode bloemen – slap hangende geraniumbladeren.*

▼ **Afb. 3** Een make-over.



- 6

Bij sommige diersoorten worden de geslachten op een andere manier bepaald dan door geslachtschromosomen. Bij bijen zijn de mannetjes (darren) haploïd. Darren ontwikkelen zich uit onbevuchte eicellen. Vrouwelijke bijen ontstaan uit bevruchte eicellen. Afhankelijk van de voeding ontwikkelt een zygote zich tot een koningin of een werkbij. Voor bijen geldt $n = 16$.

Zijn de verschillen tussen een werkbij en een koningin erfelijk of zijn het modificaties? Leg je antwoord uit.
- 7

Een groot drama in de geschiedenis van de geneeskunde is de introductie van het slaapmiddel Softenon rond 1960. Vrouwen gebruikten dit middel tijdens de zwangerschap. Zij kregen daardoor baby's met korte armen of benen en soms zelfs helemaal geen ledematen.

Is deze afwijking van de armen en benen (de ledematen) erfelijk of aangeboren? Leg je antwoord uit.

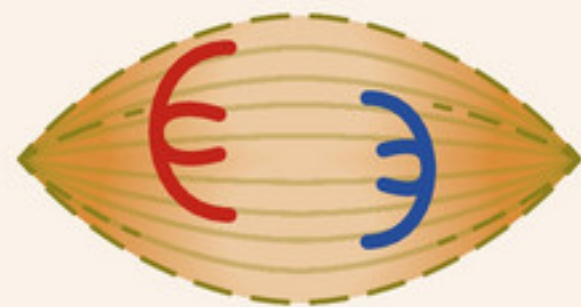
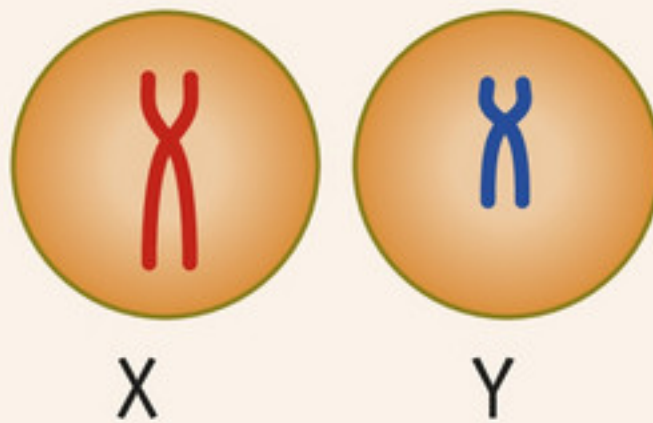
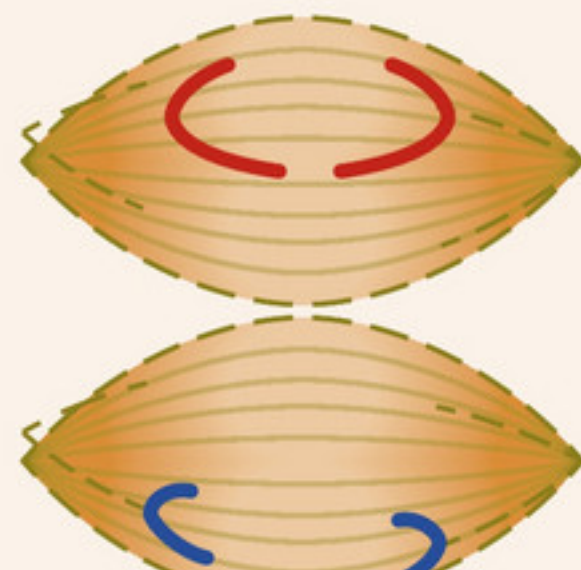
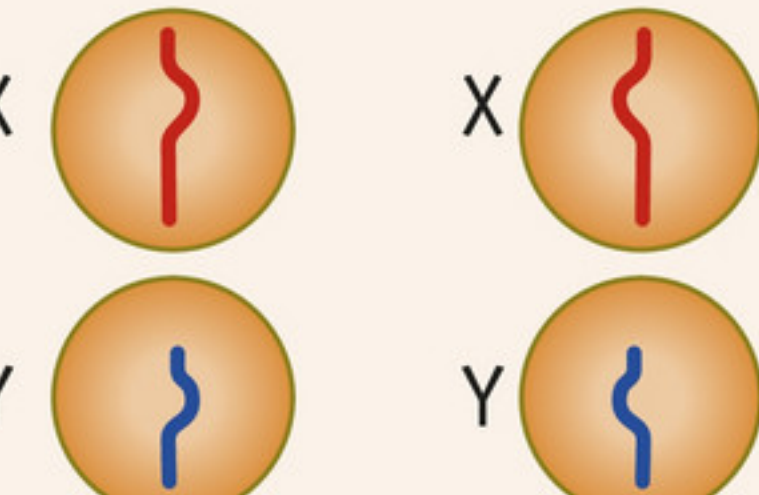
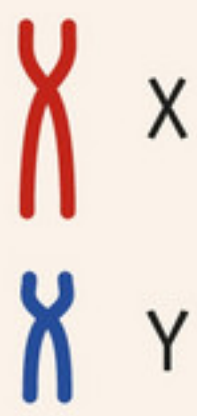
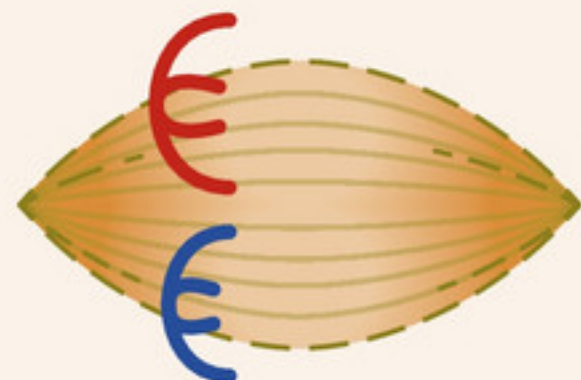
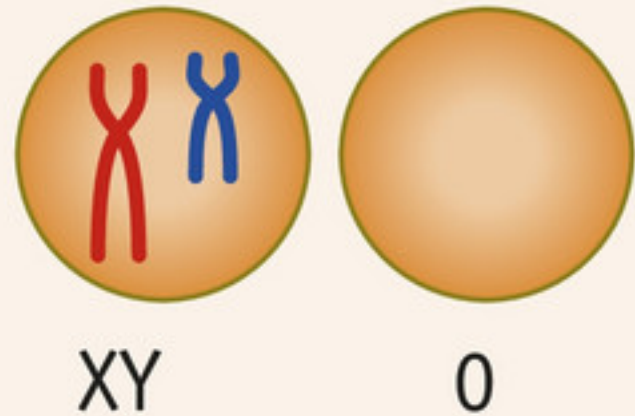
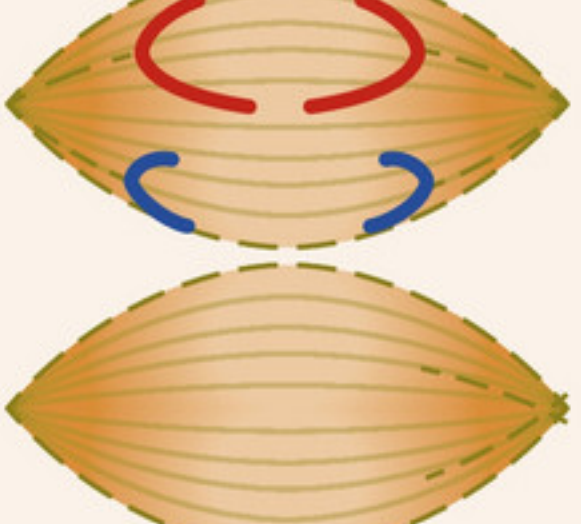
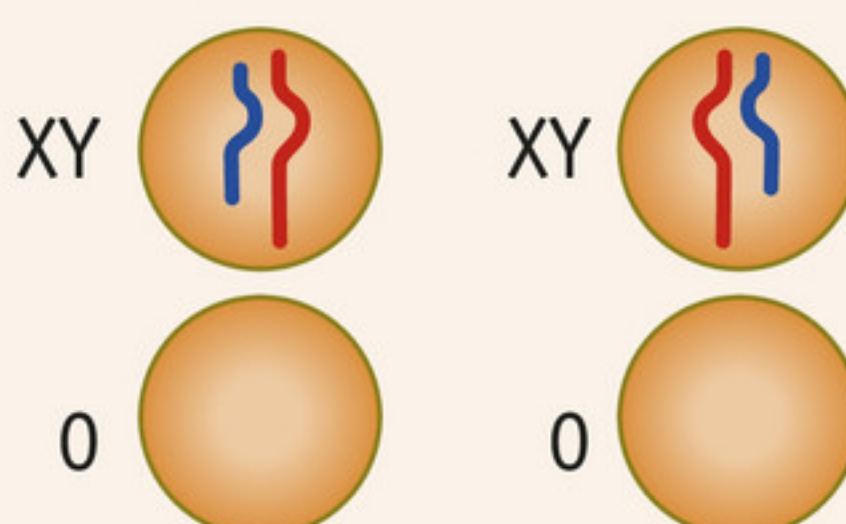
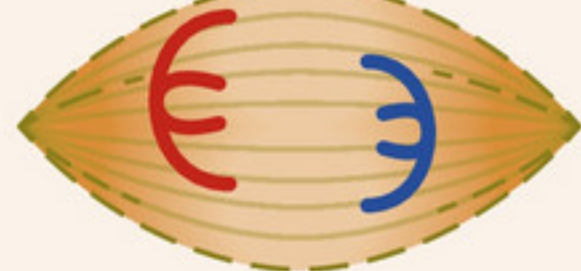
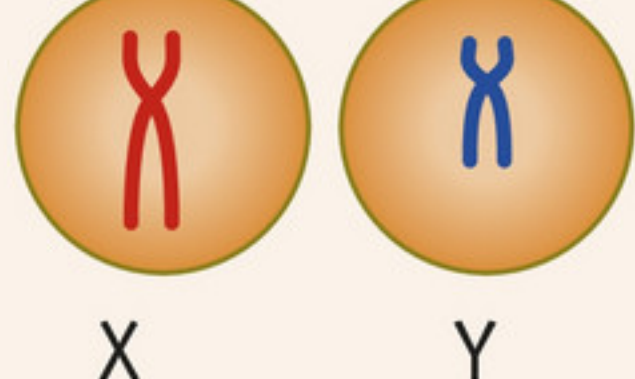
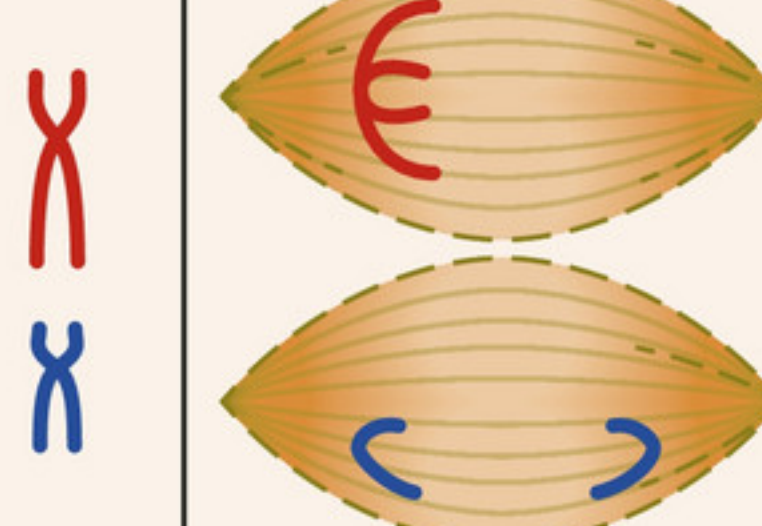
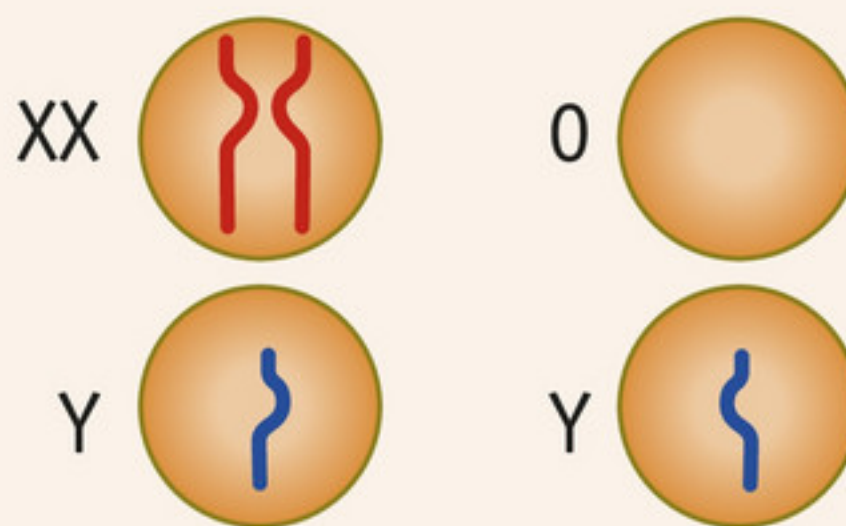
CONTEXTLeefwereld

Het syndroom van Klinefelter

Gerard en Helga wilden graag kinderen. Toen het na twee jaar nog niet was gelukt om zwanger te worden, lieten zij zich in het ziekenhuis onderzoeken. Daar bleek Gerards sperma geen zaadcellen te bevatten. Mede door zijn lichamelijke kenmerken dachten artsen aan het syndroom van Klinefelter. Na een vervolgonderzoek door een klinisch geneticus werd dit inderdaad vastgesteld: ‘Het syndroom van Klinefelter is een erfelijke aandoening die alleen bij mannen voorkomt. Mannen met dit syndroom hebben in de lichaamscellen ten minste één X-chromosoom te veel. Het syndroom komt in meerdere varianten voor: de eenvoudigste heeft één X-chromosoom te veel, bij andere komen er twee of soms drie X-chromosomen te veel voor.

Klinefelter kan worden veroorzaakt doordat de geslachtschromosomen niet uiteengaan tijdens de meiose (non-disjunctie). Bij non-disjunctie blijft een chromosomenpaar bij elkaar tijdens de anafase. Daardoor ontstaan geslachts-cellen met verschillende aantallen geslachtschromosomen (zie afbeelding 4).

▼ Afb. 4 Non-disjunctie bij meiose.

Normale meiose	X Y 	X Y 			X Y 
Nondisjunctie tijdens meiose I			XY 0 		XY 0 
Nondisjunctie tijdens meiose II	X Y 	X Y 			

Klinefelter kan ook net na de bevruchting ontstaan. Dan ontstaan er tijdens de embryonale ontwikkeling cellen met verschillende aantallen chromosomen. Naast normale cellen ontstaan cellen met een X-chromosoom te veel. Er ontstaat dan een Klinefelter-mozaïek, waarbij mannen lichaamscellen hebben met 46 chromosomen én 47 chromosomen.'

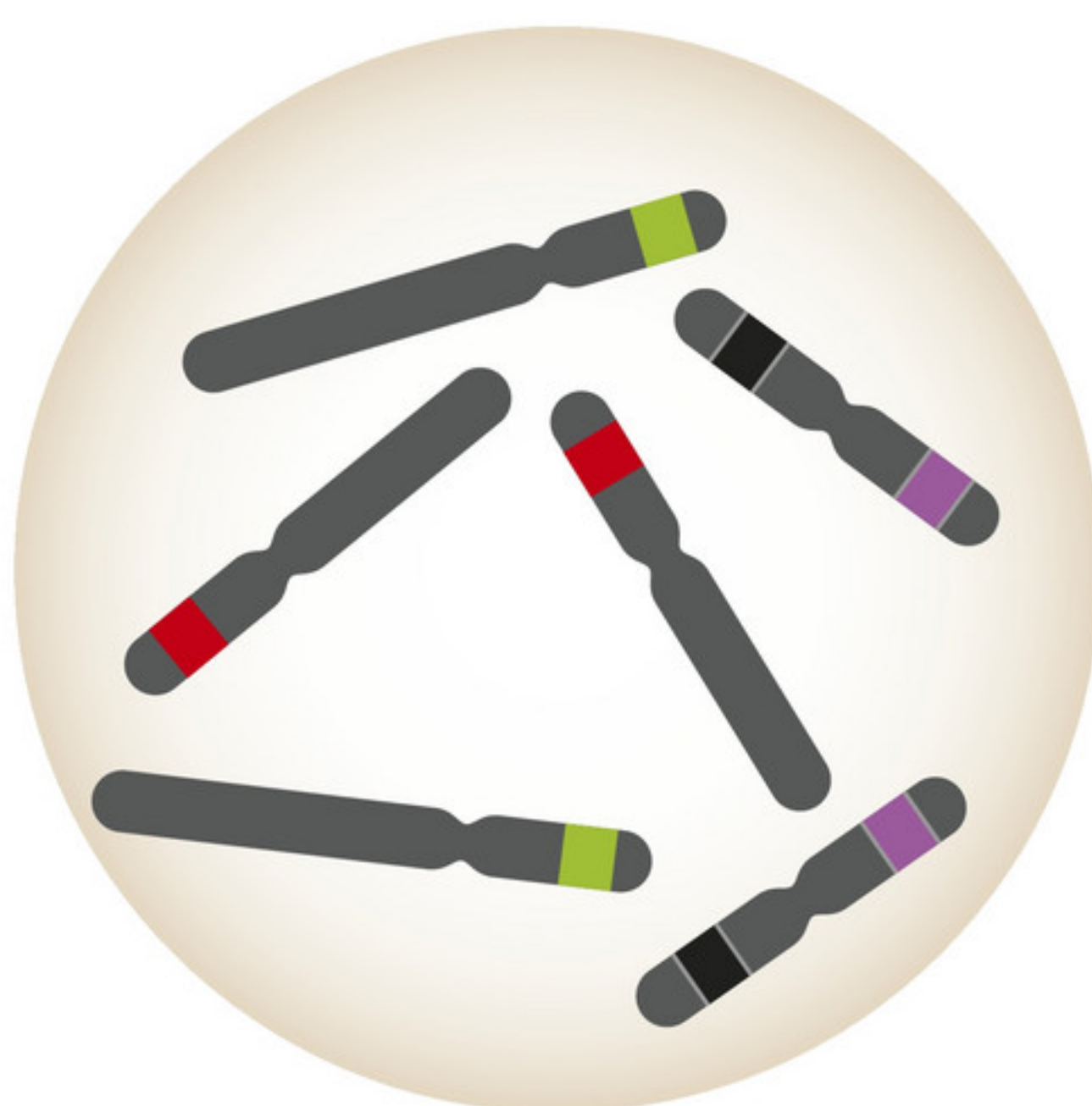
opdrachten

- 8 Zoek op internet informatie over het syndroom van Klinefelter. Noteer ten minste vier belangrijke kenmerken van het fenotype van mannen met dit syndroom.
- 9
 - a Het syndroom van Klinefelter kan worden veroorzaakt door non-disjunctie van de geslachtschromosomen tijdens de meiose (zie ook afbeelding 4). Waar vindt deze non-disjunctie plaats bij de vorming van zaadcellen: bij meiose I, bij meiose II of bij beide?
 - b Waar vindt deze non-disjunctie plaats bij de vorming van eicellen: bij meiose I, bij meiose II of bij beide?
 - c Het syndroom van Klinefelter kan ook net na de bevruchting ontstaan. Bij welk type celdeling ontstaan dan cellen met verschillende aantallen chromosomen?
- 10 Niet alle mannen die lijden aan het syndroom van Klinefelter zijn onvruchtbaar. Bij de mozaïekvariant zijn er mannen die wel nakomelingen kunnen krijgen. Geef hiervoor een verklaring.

Leerdoelen

- Je kunt uitleggen hoe het fenotype van een organisme tot stand komt en hierbij de begrippen homozygoot, heterozygoot, dominant en recessief gebruiken.
- Je kunt beschrijven hoe door recombinatie nieuwe combinaties van allelen ontstaan.

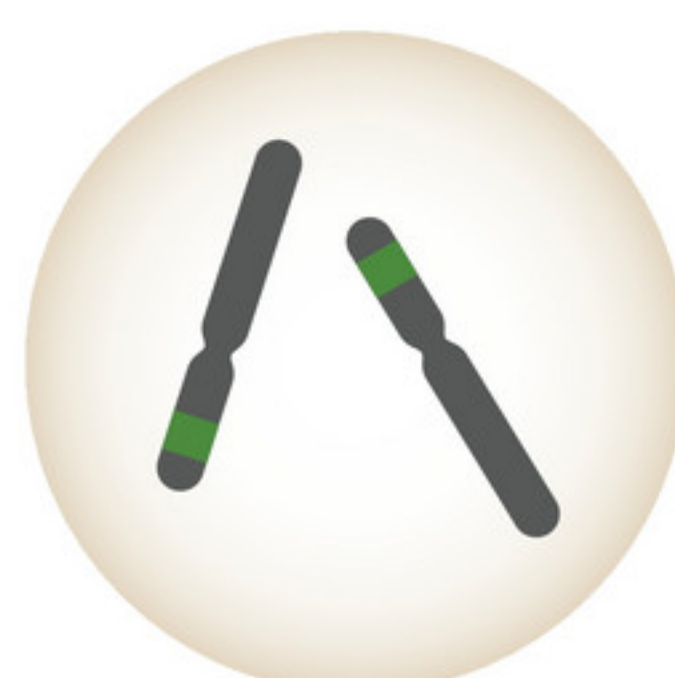
▼ **Afb. 5** Lichaamscel met chromosomen en genen (schematisch).



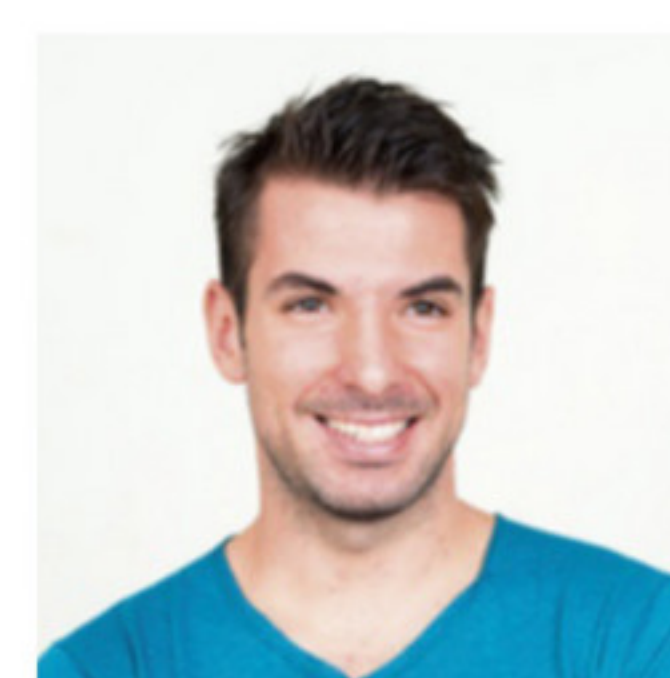
▼ **Afb. 6** Een rechte en een V-vormige haarlijn op het voorhoofd.



1 homozygoot voor een rechte haarlijn



2 homozygoot voor een V-vormige haarlijn



3 heterozygoot voor de haarlijn

Legenda:

■ gen voor rechte haarlijn

■ gen voor v-vormige haarlijn

2 Genenparen

Je hebt het vast weleens gezien: een kind met blauwe ogen die bruinogige ouders heeft. Dat is bijzonder, omdat dit kind de eigenschap 'blauwe ogen' van zijn ouders heeft gekregen, en deze eigenschap bij de ouders niet tot uiting komt.

HOMOZYGOOT EN HETEROZYGOOT

In lichaamscellen komen chromosomen en genen in paren voor (zie afbeelding 5). De plaats van een gen in een chromosoom noem je een **locus**. Homologe chromosomen komen naast lengte en vorm ook overeen in loci (meervoud van locus). Homologe chromosomen bevatten dan ook genen voor dezelfde erfelijke eigenschappen.

Een gen voor een bepaalde eigenschap kan verschillende allelen hebben. Voor de eigenschap haarlijn van het voorhoofd bestaan er allelen voor een V-vormige haarlijn en allelen voor een rechte haarlijn. Bij personen met een rechte haarlijn bestaat het genenpaar voor de haarlijn bijvoorbeeld uit twee allelen voor een rechte haarlijn (zie afbeelding 6.1). Bij deze personen zijn de twee allelen voor de haarlijn aan elkaar gelijk. Je noemt deze personen **homozygoot** voor de eigenschap rechte haarlijn.

Ook personen waarbij het genenpaar voor de haarlijn bestaat uit twee allelen voor een V-vormige haarlijn (zie afbeelding 6.2), zijn homozygoot voor de eigenschap V-vormige haarlijn.

Er zijn ook personen van wie het genenpaar voor de haarlijn bestaat uit een allel voor een rechte haarlijn en een allel voor een V-vormige haarlijn. De twee allelen voor de haarlijn zijn dan ongelijk. Deze personen zijn **heterozygoot** voor de haarlijn.

DOMINANT EN RECESSIEF

Personen die heterozygoot zijn voor de haarlijn, blijken een V-vormige haarlijn te bezitten (zie afbeelding 6.3). Slechts een van beide allelen komt tot uiting in het fenotype. Je noemt dit allel het **dominante allel**. Het andere allel noem je het **recessieve allel**. Dit allel komt alleen tot uiting in het fenotype als er geen dominant allel aanwezig is. Het dominante allel is als het ware 'sterker' dan het recessieve allel. De personen in afbeelding 6.2 en 6.3 hebben dezelfde haarlijn. Aan het uiterlijk is niet te zien of deze personen homozygoot zijn voor de haarlijn of heterozygoot. Personen die heterozygoot zijn, zijn **drager** van de recessieve eigenschap rechte haarlijn.

Voor de meeste erfelijke eigenschappen geldt dat er dominante en recessieve allelen zijn. Bij sommige erfelijke eigenschappen is het onderscheid tussen dominant en recessief minder duidelijk. Bij de mens bijvoorbeeld is het allel voor bruine oogkleur dominant over het allel voor blauwe oogkleur. Bij iemand die homozygoot is voor bruine ogen blijken de ogen donkerder te zijn dan bij iemand die heterozygoot is voor de oogkleur (zie afbeelding 7). Bij deze eigenschap komt het recessieve allel toch een beetje tot uiting in het fenotype. Het allel voor bruine oogkleur is **onvolledig dominant**.

▼ **Afb. 7** De oogkleur bij mensen.



1 homozygoot voor blauwe ogen



2 homozygoot voor bruine ogen



3 heterozygoot voor de oogkleur

Bij leeuwenbekjes (zie afbeelding 8) bijvoorbeeld komen allelen voor rode bloemkleur voor en allelen voor witte bloemkleur. Geen van beide allelen is recessief. De beide allelen voor de bloemkleur zijn bij deze planten als het ware 'even sterk'. De leeuwenbekjes die heterozygoot zijn voor de bloemkleur hebben roze bloemen. Beide allelen voor de bloemkleur komen enigszins tot uiting in het fenotype. Een dergelijk fenotype noem je **intermediair**. Het fenotype is een mengvorm van beide allelen.

► **Afb. 8** De bloemkleur bij leeuwenbekjes.



1 homozygoot voor rode bloemkleur



2 heterozygoot voor de bloemkleur



3 homozygoot voor witte bloemen

Allelen kunnen ook codominant overerven. Bij **codominantie** komen beide allelen volledig tot uiting in het fenotype. Dit resulteert dan bijvoorbeeld in een bloem met rode én witte kleuren.

Welke allelen dominant en welke recessief zijn, verschilt per soort. Een voorbeeld: bij erwtenplanten komen ook allelen voor rode en voor witte bloemkleur voor, net als bij leeuwenbekjes. Maar een erwtenplant die heterozygoot is voor de bloemkleur, heeft rode bloemen. Bij erwtenplanten is het gen voor rode bloemen dominant over dat voor witte bloemen. Dit geldt voor alle planten van deze soort.

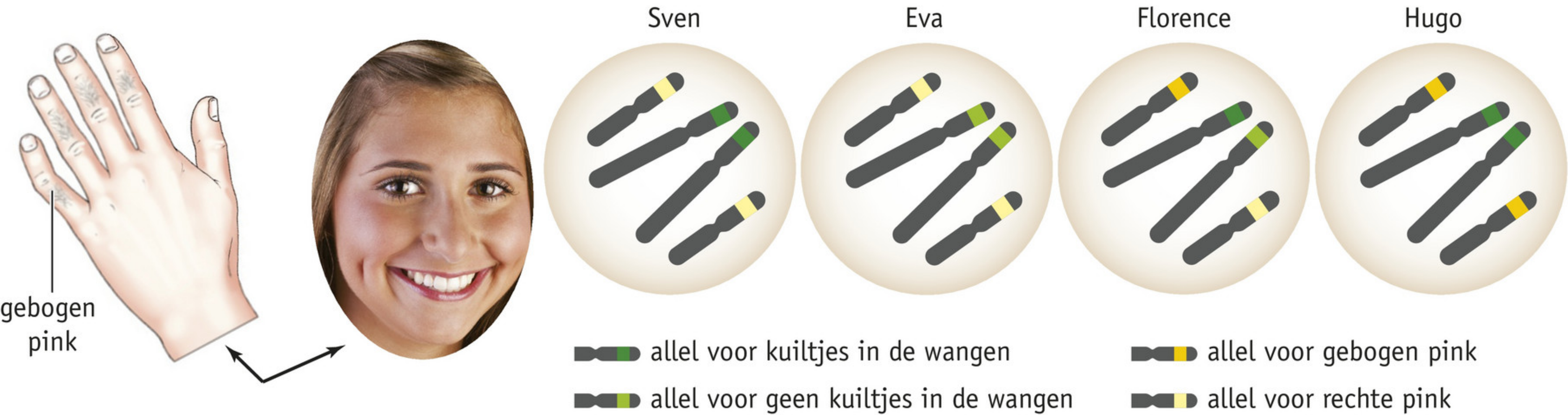
GENEN WEERGEVEN

In de **genetica** of erfelijkheidsleer geef je genen aan met letters. Een dominant allel wordt aangegeven met een hoofdletter, een recessief allel met een kleine letter. Bijvoorbeeld: een individu dat heterozygoot is voor een bepaalde eigenschap wordt aangegeven met Aa. Je kunt ook andere letters gebruiken. Gebruik steeds letters waarvan de hoofdletter en de kleine letter duidelijk van vorm verschillen (dus niet bijvoorbeeld P en p maar wel R en r). Als twee allelen van een genenpaar beide tot uiting komen in het fenotype, gebruik je een andere schrijfwijze. Een rood leeuwenbekje bijvoorbeeld geef je aan met A^wA^r, een wit leeuwenbekje met A^wA^w en een roze leeuwenbekje met A^rA^w.

opdrachten

- 11 In afbeelding 9 zie je van vier verschillende personen de lichaamscellen schematisch getekend. Twee erfelijke eigenschappen bij mensen zijn kuiltjes in de wangen bij het lachen en een gebogen pink. Bij sommige mensen komt een gebogen pink voor waarbij het bovenste kootje van de pink naar binnen wijst. Van deze twee eigenschappen zijn vier allelen die in de chromosomen liggen van elke cel aangegeven. Van Florence is een deel van haar fenotype weergegeven.

▼ **Afb. 9** Florence heeft een gebogen pink en kuiltjes in haar wangen (fenotype).



- a Wie is of zijn homozygoot en heterozygoot voor de eigenschap kuiltjes in de wangen en de eigenschap vorm van de pink? Neem de tabel over en vul deze in.

Eigenschap	Homozygoot	Heterozygoot
Kuiltjes in de wangen		
Vorm van de pink		

Naam	Kuiltjes in de wangen	Rechte pink
Sven		
Eva		
Florence		
Hugo		

- b Is het allel voor een gebogen pink dominant over dat voor een rechte pink? Leg uit.
- c Met het fenotype van Florence kun je ook afleiden of het allel voor kuiltjes in de wangen dominant of recessief is. Is het allel voor kuiltjes in de wangen dominant of recessief?
- d Neem de tabel over en zet een kruisje bij elke persoon met kuiltjes in de wangen en/of een rechte pink.

- ▼ **Afb. 10** Zijn dit de ouders van Sven, Eva, Florence of Hugo?



- ▼ **Afb. 11** Navelsinaasappel.



- **Afb. 12** Intermediaire overerving bij katten.

- 12 a De vader van Eva heeft een rechte pink.
Is de vader van Eva homozygoot of heterozygoot voor de vorm van de pink? Leg uit.
- b De moeder van Eva heeft een gebogen pink.
Kun je hieruit afleiden of zij homozygoot of heterozygoot is voor de vorm van de pink? Leg uit.
- c In afbeelding 10 zie je de ouders van een van de vier personen van afbeelding 9.
Van wie zijn dit de ouders? Leg je antwoord uit.
- 13 Geef de genotypen van de vier personen van afbeelding 9 met letters aan. Gebruik daarbij Q en q voor de aanwezigheid van kuiltjes in de wangen en R en r voor de vorm van de pink.

- 14 a Het allel voor een normale sinaasappel is dominant over dat voor een navelsinaasappel (zie afbeelding 11). Het genotype van een bepaalde sinaasappel kan worden weergegeven door Bb.
Is dit een navelsinaasappel of een normale sinaasappel?
- b Geef het genotype van een navelsinaasappel weer.
- 15 Bij katten kan het allel op de C-locus de kleur van de vacht beïnvloeden (zie afbeelding 12). Het allel C^{ch} bevat de informatie voor het enzym tyrosinase dat nodig is voor de vorming van het pigment eumelanine. Eumelanine geeft de zwarte kleur aan de vacht. Dit enzym wordt inactief bij temperaturen boven de $33\text{ }^{\circ}\text{C}$. In de uiteinden van een kat is het koeler dan $33\text{ }^{\circ}\text{C}$, maar de romp, nek en een deel van de kop zijn warmer dan $33\text{ }^{\circ}\text{C}$. In de vacht ontbreekt het eumelanine dan geheel.
Op de C-locus komt ook allel C^b voor dat minder pigmentremmend is dan allel C^{ch} . De allelen C^b en C^{ch} zijn 'even sterk'. Ook bij cavia's en konijnen komen deze allelen voor.



1 Birmanse kat



2 Tonkinese kat



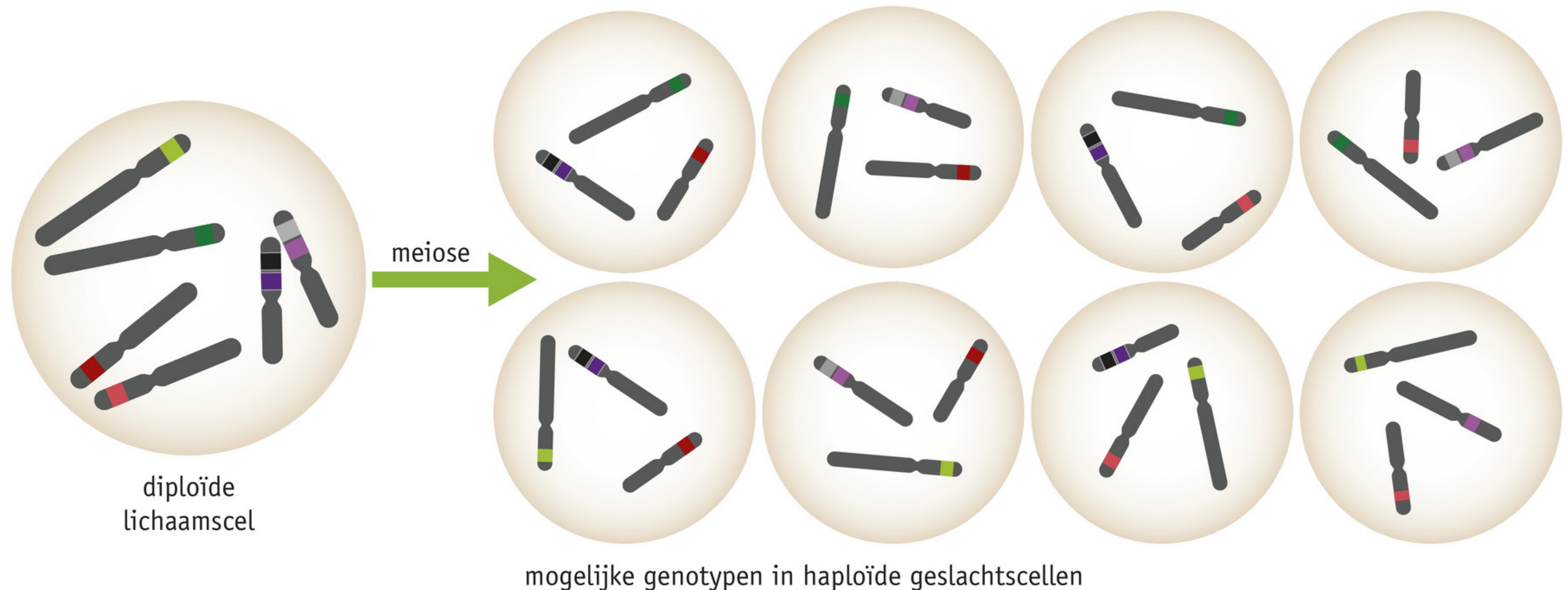
3 Siamese kat

- a Welke genotypen hebben de drie katten voor de C-locus?
- b Welke kat heeft een intermediair fenotype?
- c Soms wordt een kat met het genotype van een Siamese kat aangezien voor een Tonkinese kat.
Leg dat uit.

▼ **Afb. 13** Recombinatie van allelen door de vorming van geslachtscellen.

RECOMBINATIE EN MUTATIE

Het herverdelen van erfelijke eigenschappen heet **recombinatie**. Door recombinatie hebben nakomelingen een andere combinatie van allelen dan beide ouders. Recombinatie vindt plaats door meiose en geslachtelijke voortplanting (zie afbeelding 13).

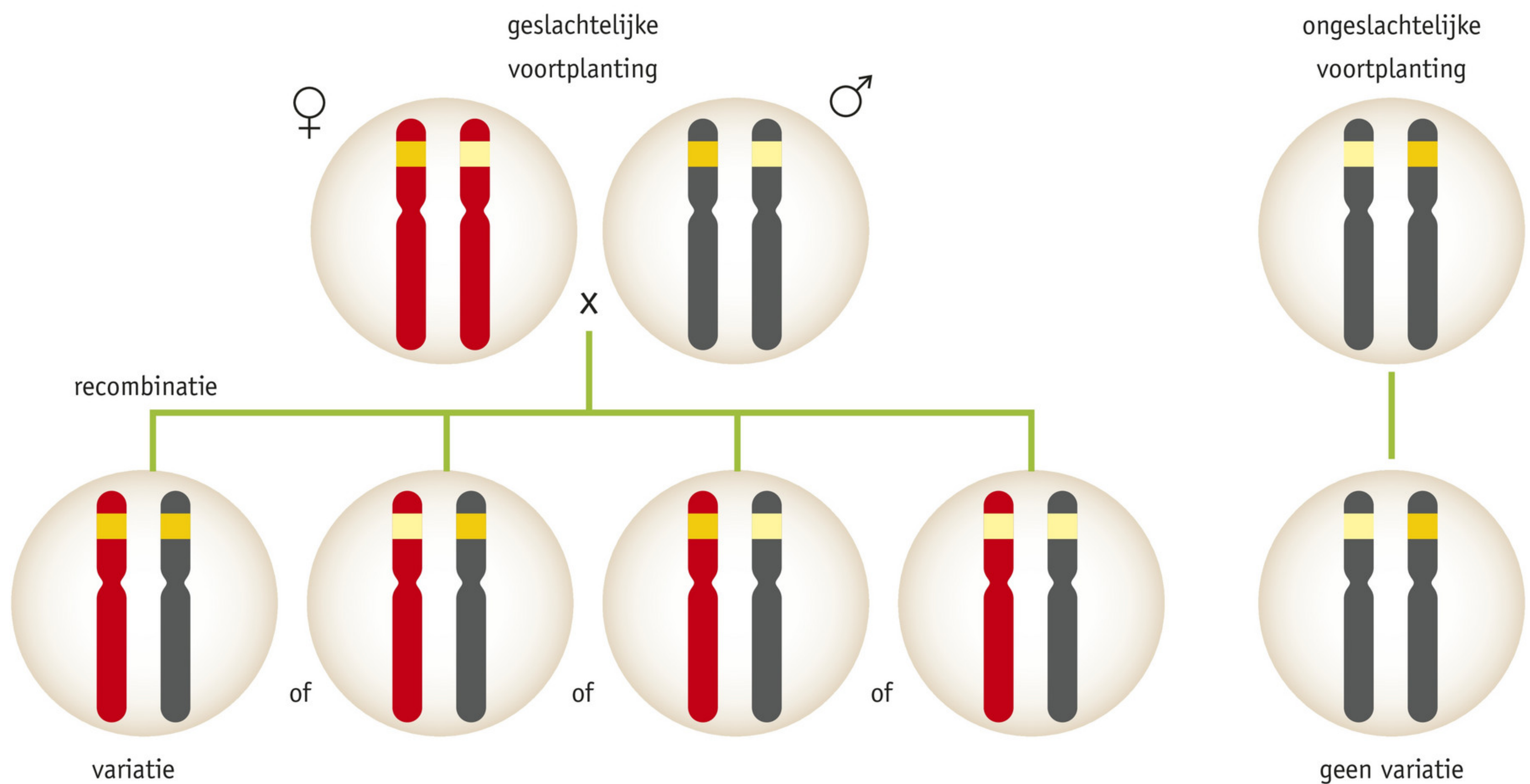


Recombinatie door meiose vindt plaats tijdens meiose I. Elk chromosomenpaar bevat veel genenparen. Bij elk mens liggen op elk chromosomenpaar altijd genenparen die bestaan uit twee gelijke of ongelijke allelen.

Bij meiose I gaan de chromosomen van een chromosomenpaar uit elkaar. Doordat de allelen in de chromosomen van een chromosomenpaar vaak verschillen, hebben de dochtercellen een verschillend genotype. Bijvoorbeeld bij individuen van een soort waarbij er drie chromosomen aanwezig zijn ($n = 3$) kunnen na meiose geslachtscellen ontstaan met acht (2^3) verschillende combinaties van chromosomen. Bij de mens ($n = 23$) kunnen geslachtscellen ontstaan met 2^{23} (8,4 miljoen) verschillende combinaties van chromosomen. Welke chromosomen de geslachtscellen bevatten die na bevruchting een nieuw individu opleveren, is afhankelijk van het toeval.

Bij geslachtelijke voortplanting ontstaat door bevruchting weer een diploïde cel (zygote) en worden de chromosomen en daardoor dus ook de allelen van beide ouders bij elkaar gebracht. Bij de bevruchting ontstaan daardoor via recombinatie nieuwe genenparen (zie afbeelding 14). De nakomeling zal altijd een andere combinatie van erfelijke eigenschappen bezitten dan de ouders. Meerdere nakomelingen van een ouderpaar verschillen vrijwel altijd van genotype.

▼ **Afb. 14** Genetische variatie door geslachtelijke voortplanting.



Door recombinatie van allelen ontstaat een grote verscheidenheid in genotypen binnen een soort. Je spreekt ook wel van **genetische variatie**. Hierdoor heeft de soort een grote overlevingskans. Als de milieuomstandigheden wijzigen, is de kans groot dat enkele individuen een genotype bezitten met een goede aanpassingsmogelijkheid voor de nieuwe omstandigheden. Genetische variatie komt niet alleen door recombinatie van allelen tot stand, maar ook door mutaties. Mutaties zijn veranderingen in erfelijke eigenschappen. In thema 4 leer je meer over genetische variatie en mutaties.

TWEELINGEN

Een eeneiige tweeling ontstaat uit de versmelting van één zaadcel en één eicel. Na de deling van de zygote ontstaan cellen met hetzelfde genotype. Door omstandigheden splitst de zygote zich in twee klompjes cellen. Deze cellen ontwikkelen zich tot individuen met precies hetzelfde genotype. Uiteindelijk hebben alle lichaamscellen van de twee individuen van een eeneiige tweeling een gelijk genotype. Een twee-eiige tweeling ontstaat uit twee zaadcellen en twee eicellen. De allelen in twee zaadcellen zijn niet precies hetzelfde. Dit geldt ook voor de allelen in de twee eicellen. De beide leden van een twee-eiige tweeling hebben dan ook niet hetzelfde genotype. Ze lijken net zoveel op elkaar als andere broers en zusters op elkaar kunnen lijken.

opdracht

- 16** Voor een fruitvlieg geldt: $n = 4$.
Hoeveel verschillende genotypen kunnen de geslachtscellen van een fruitvlieg bevatten door recombinatie van allelen?

Liever een slappeling

▼ Afb. 15 Soay-rammen.



Mannetjes soay-schapen (rammen, zie afbeelding 15) op het eiland St. Kilda vertonen verschillen in de hoornlengte. Rammen met lange hoorns zijn aantrekkelijk en dus populair in de paartijd, rammen zonder hoorns niet. Waarom lopen er dan nog steeds rammen zonder hoorns rond, dacht Dr. Susan Johnston.

Johnston en haar collega's ontdekten dat de hoornlengte grotendeels wordt bepaald door één enkel gen. Het allel *Ho+* staat voor lange hoorns en *HoP* voor korte stompjes. De allelen erven onvolledig dominant over.

Rammen met één of twee kopieën van het *Ho+*-allel zijn aantrekkelijk bij vrouwtjes en leveren aanzienlijk meer nakomelingen dan zijn kortgehoornde soortgenoot. Je zou verwachten dat na enkele generaties het *HoP*-allel uiteindelijk verdwijnt. Toch gebeurt dit niet. Johnston en haar collega's ontdekten namelijk dat rammen met twee *Ho+*-allelen niet alleen meer dames scoorden, maar ook korter leefden dan de kortgehoornde schapen. Rammen met een kopie van beide allelen *Ho+* en *HoP* leefden net zolang als de kortgehoornde schapen maar kregen wel meer nakomelingen.

opdrachten

- 17 a Hoe ziet het fenotype van rammen eruit die heterozygoot zijn voor hoornlengte?
b Waardoor zou je verwachten dat na enkele generaties het *HoP*-allel uiteindelijk verdwijnt?
- 18 a Welke twee factoren zorgen ervoor dat heterozygoten meer nakomelingen krijgen dan homozygoten?
b Wat zou een verklaring kunnen zijn voor het feit dat kortgehoornde schapen langer leven dan langgehoornde schapen?
c Waarom zouden rammen met lange hoorns aantrekkelijker zijn voor vrouwtjes?

Leerdoelen

- Je kunt van een monohybride kruising een kruisingsschema opstellen.
- Je kunt de frequentie van genotypen en fenotypen van nakomelingen bij een monohybride kruising afleiden uit een kruisingsschema of stamboom.

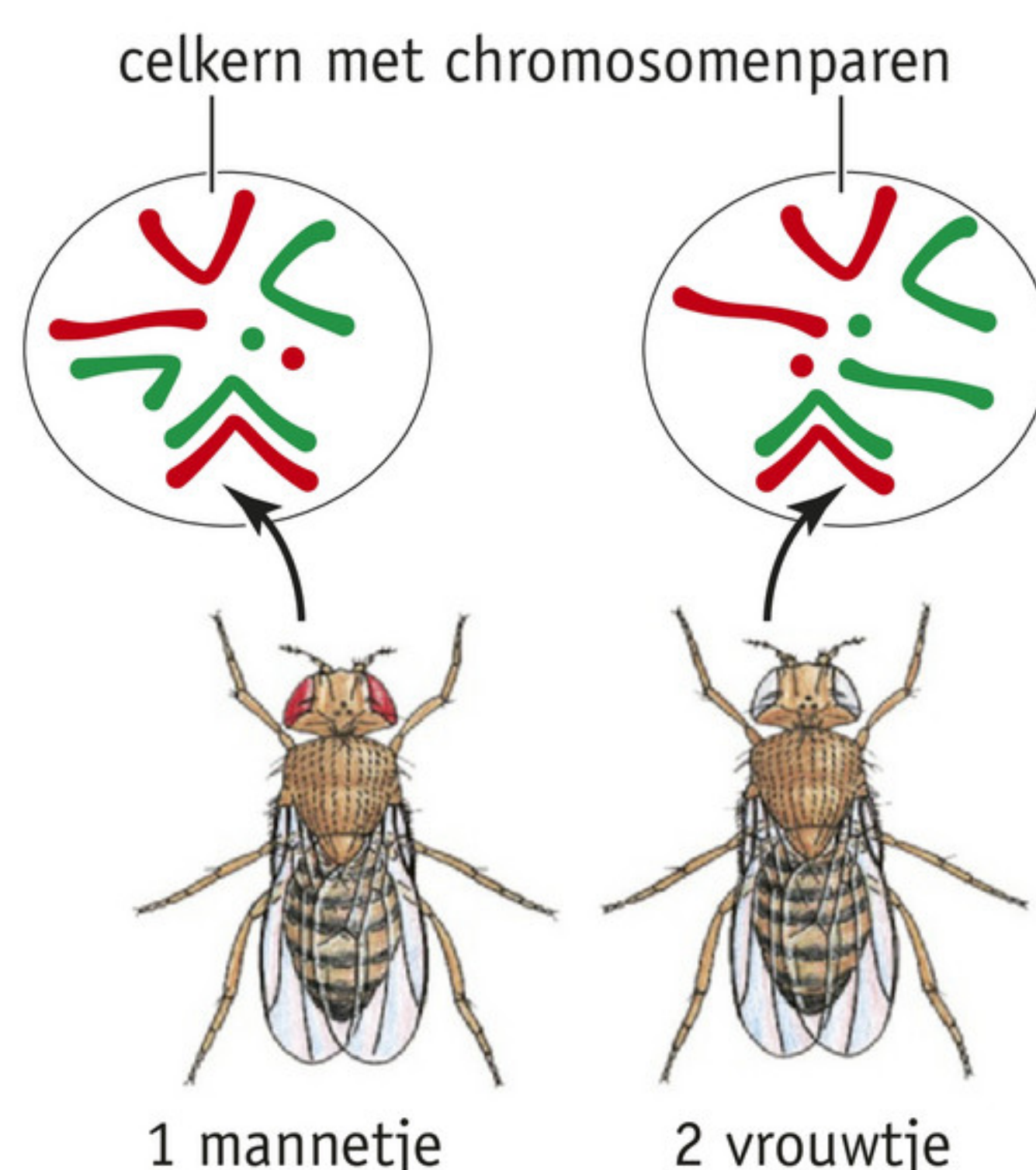
► **Afb. 16** Fruitvliegjes (*Drosophila melanogaster*).

3 Monohybride kruisingen

Johann Mendel bestudeerde systematisch de overerving van eigenschappen door kruisingen uit te voeren met erwtenplanten. Hij herkende daarbij overervingspatronen. Na ruim 150 jaar dienen deze wetten van Mendel nog steeds als model voor erfelijkheidsvraagstukken.

MONOHYBRIDE KRUISINGEN

Veel van de huidige kennis in de genetica is opgedaan door kruisingen uit te voeren met gewone fruitvliegjes, ook wel bananenvliegjes genoemd (zie afbeelding 16). Deze modelorganismen zijn goed geschikt voor kruisingsproeven. Ze planten zich snel voort en krijgen zeer veel nakomelingen. Ze zijn gemakkelijk te kweken en de mannetjes en vrouwtjes zijn gemakkelijk van elkaar te onderscheiden. Fruitvliegjes vertonen een grote verscheidenheid in fenotype voor veel erfelijke eigenschappen, bijvoorbeeld oogkleur en vleugelvorm. Een fruitvliegje heeft slechts vier chromosomenparen. Met een microscoop zijn de chromosomen duidelijk te zien.



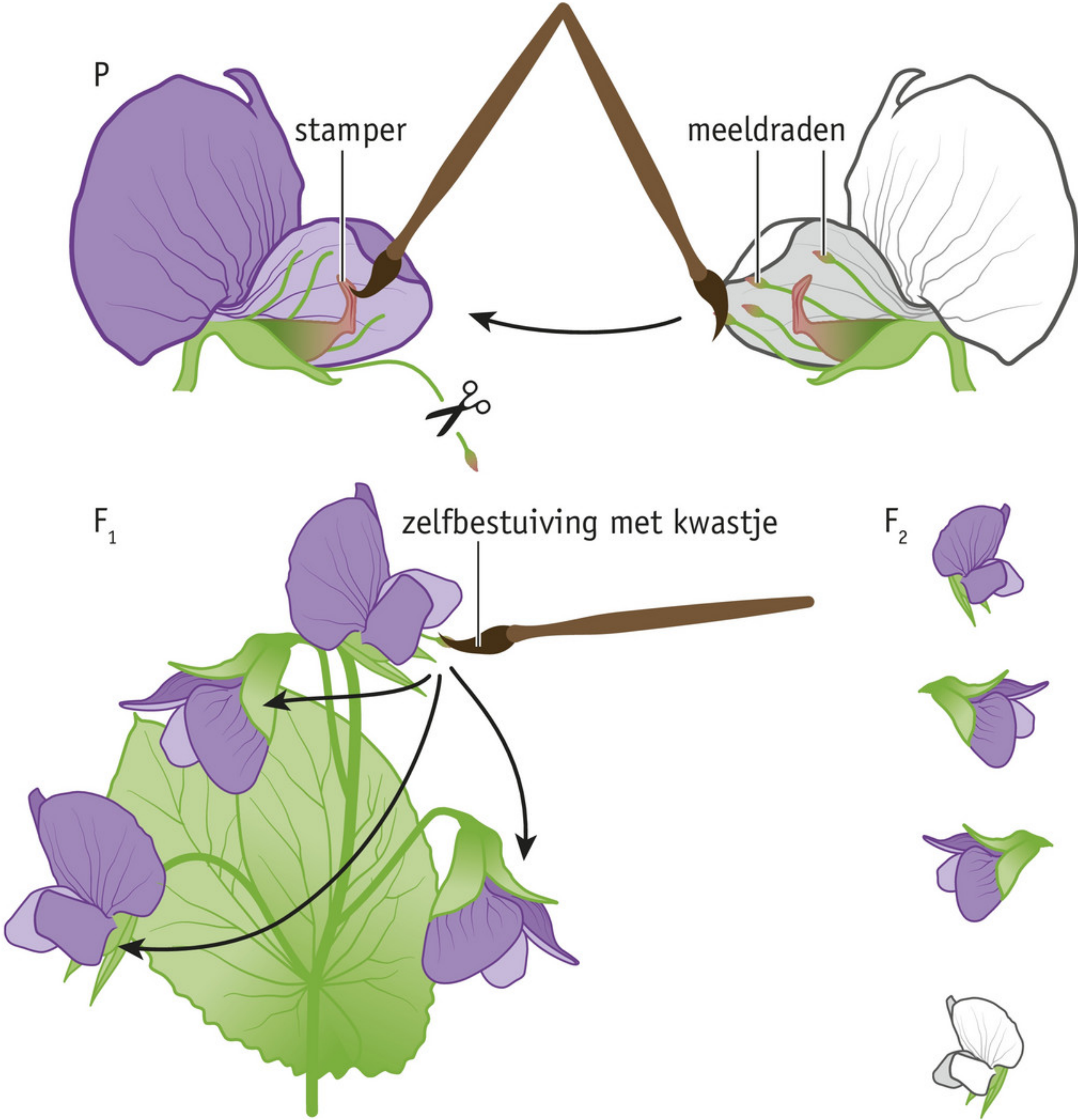
Bij kruisingen vindt geslachtelijke voortplanting plaats en let je op de overerving van erfelijke eigenschappen. Bij een **monohybride kruising** let je slechts op de overerving van één eigenschap, waarbij één genenpaar is betrokken.

Bij kruisingen geef je ouders aan met de letter P (*Parentes* = ouders in het Latijn). De nakomelingen geef je aan met F_1 (*Filii* = kinderen in het Latijn; 1 = eerste generatie). Als deze nakomelingen zich onderling voortplanten, ontstaat hieruit een tweede generatie nakomelingen, die je aangeeft met F_2 . Bij planten kan de F_2 ook ontstaan na zelfbestuiving van planten in de F_1 . Hierbij wordt stuifmeel van meeldraden overgebracht op de stempels van bloemen die zich op dezelfde plant bevinden (zie afbeelding 17).

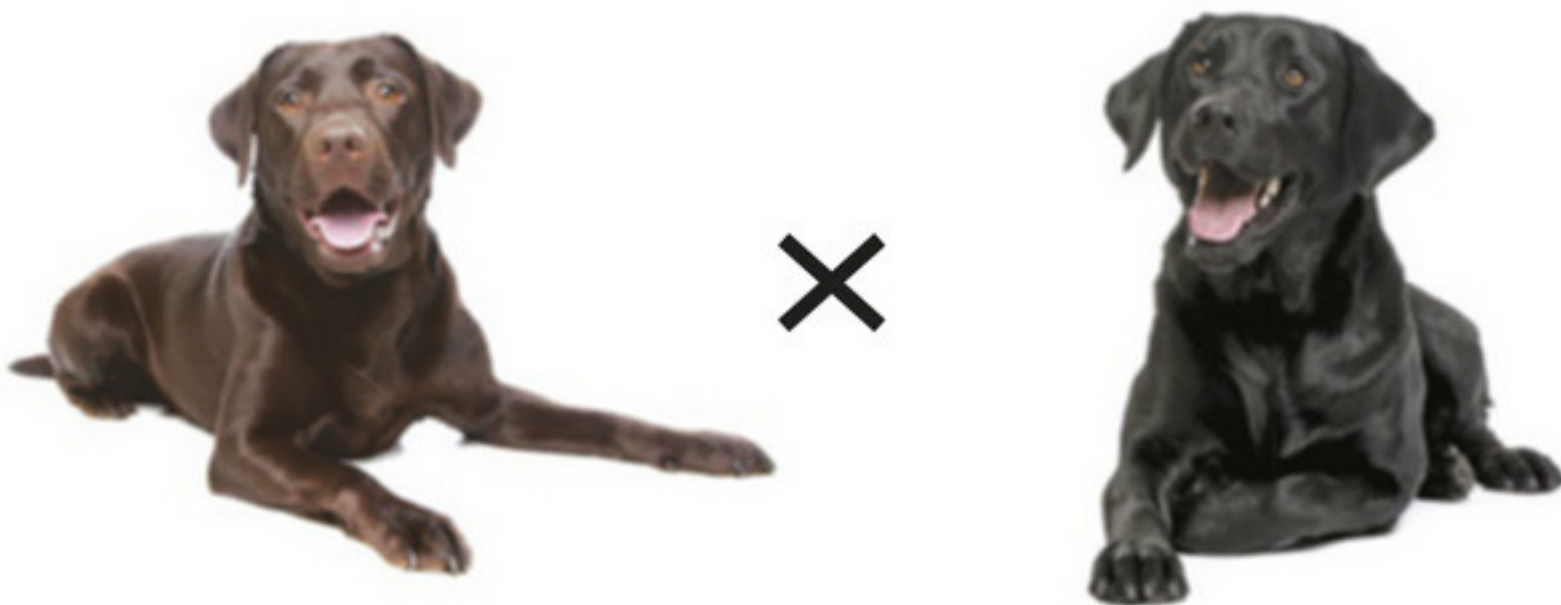
opdracht

- 19 In het onderzoeksschema van afbeelding 17 staat het onderzoek zoals Mendel dat waarschijnlijk heeft uitgevoerd. Dit wordt ook wel een ‘modelkruising’ genoemd.
 - a De conclusie ontbreekt.
Hoe luidt de conclusie van dit onderzoek?
 - b In de hypothese heeft Mendel het over ‘factoren’.
Wat wordt er bedoeld met ‘factoren’?

▼ **Afb. 17** Een modelkruising van Johann Mendel.

ONDERZOEK		OVERERVING VAN ERFELIJKE EIGENSCHAPPEN
Inleiding	Mendel gebruikte de eigenschap bloemkleur van erwtenplanten om het patroon van overerving van erfelijke eigenschappen te bestuderen.	
Onderzoeksvraag	Hoe erven eigenschappen, zoals bloemkleur, over in de volgende generaties, wanneer twee erwtenplanten die homozygoot zijn voor de bloemkleur met elkaar worden gekruist?	
Hypothese	Factoren die een bepaalde eigenschap bepalen, verdwijnen niet door kruising.	
Experiment		
Resultaat	In de F ₁ zijn alle bloemen paars. In de F ₂ zijn de bloemen weer paars en wit, maar er zijn 3× zo veel paarse als witte bloemen.	
Conclusie		

▼ **Afb. 18** Bruinharige reu (♂) × zwartharige labradorteef (♀).



KRUISINGSVRAAGSTUKKEN

Bij labrador retrievers (zie afbeelding 18) is het allel voor zwarte haarkleur (B) dominant over het allel voor bruine haarkleur (b). Een mannetjeshond heet een reu en een vrouwtjeshond een teef. Een zwartharige labradorteef die homozygoot is voor de haarkleur, wordt een aantal malen gekruist met een homozygoot bruinharige reu. De dieren in de F₁ planten zich onderling voort. Welke haarkleur kunnen de puppy's in de F₂ hebben? Hoe groot is de kans voor elke haarkleur? Dit is een voorbeeld van een **kruisingsvraagstuk**. Je lost een kruisingsvraagstuk in stappen op.

- 1 Wat zijn de genotypen van de ouders? Geef deze genotypen in een kruising weer.
- De ouderdieren zijn homozygoot zwartharig (BB) en homozygoot bruinharig (bb). De kruising is dan: BB × bb.

2 Welke allelen kunnen de geslachtscellen van beide ouders bevatten?
In geslachtscellen komen allelen enkelvoudig voor. Dit wordt ook wel de splitsingswet van Mendel genoemd. Elke eicel die de teef (BB) produceert, bevat allel B. Elke zaadcel die de reu (bb) produceert, bevat allel b.

3 Welke mogelijkheden bestaan er voor de versmelting van een eicelkern en een zaadcelkern?
Bij bevruchting versmelt de kern van een eicel (met allel B) met de kern van een zaadcel (met allel b). De puppy die zich uit deze zygote ontwikkelt, is zwartharig (Bb). Andere mogelijkheden voor de versmelting van een eicelkern en een zaadcelkern zijn er bij deze kruising niet. Alle dieren in de F₁ zijn heterozygoot zwartharig. Dit is een voorbeeld van de dominantiewet van Mendel: bij een organisme dat minstens één dominant allel heeft, komt het dominante allel tot uiting.

De dieren in de F₁ van deze kruising planten zich onderling voort. Bij bevruchting weet je niet welke eicel door welke zaadcel wordt bevrucht. Er zijn vier mogelijkheden:

- Een eicel met allel B wordt bevrucht door een zaadcel met allel B.
- Een eicel met allel B wordt bevrucht door een zaadcel met allel b.
- Een eicel met allel b wordt bevrucht door een zaadcel met allel B.
- Een eicel met allel b wordt bevrucht door een zaadcel met allel b.

Om dit overzichtelijk op te schrijven gebruik je een **kruisingsschema**. De allelen in de eicellen zet je boven in het schema en de allelen in de zaadcellen links in het schema.

♀ ♂	allel in eicel	allel in eicel
	allel in zaadcel	allel in zaadcel
	allelen in zygote	allelen in zygote
	allelen in zygote	allelen in zygote

Er zijn dus vier mogelijkheden voor de versmelting van een eicelkern en een zaadcelkern. Elke mogelijkheid heeft een even grote kans om voor te komen. De kans voor elke mogelijkheid is 1/4 of 25%. In afbeelding 19 is het complete kruisingsschema van dit vraagstuk weergegeven.

▼ Afb. 19 Monohybride kruising.

P



genotypen BB

geslachtscellen B

×



genotypen bb

geslachtscellen b

×

F₁



genotypen Bb

geslachtscellen B of b

×



genotypen Bb

geslachtscellen B of b

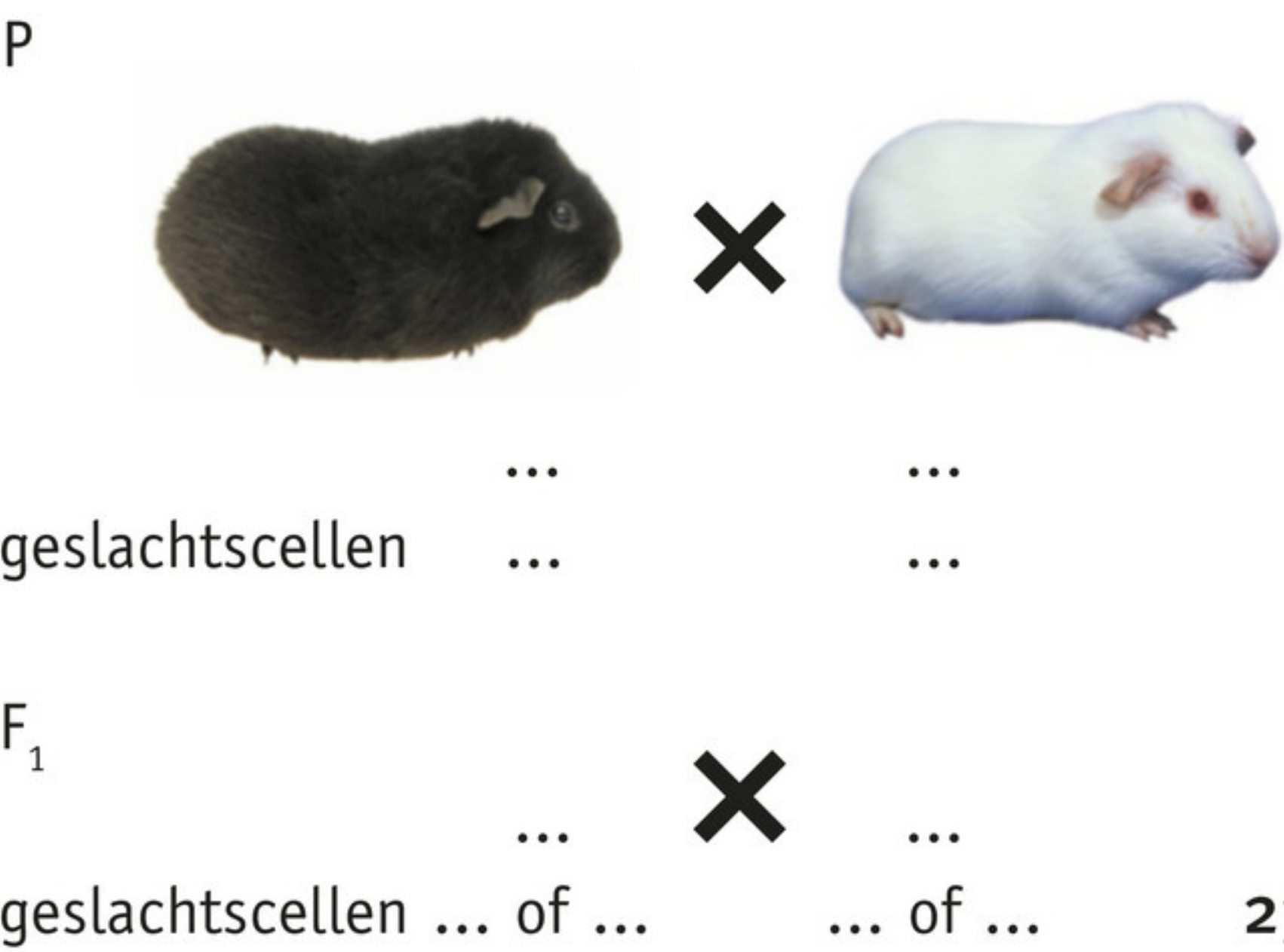
F₂

	B	b
B	 BB	 Bb
b	 Bb	 bb

opdrachten

- 20 Uit de kruising van de bruinharige labradorreu (bb) en de zwartharige labradorteef (BB) ontwikkelen zich twee zwartharige labrador retrievers. De dieren in de F₁ van deze kruising planten zich onderling voort.
- a Wat is het genotype van de labradors in de F₁?
 - b Geef de onderlinge voortplanting van dieren in de F₁ in een kruising weer.
 - c Een teef in de F₁ produceert eicellen. Welke allelen kunnen in deze eicellen voorkomen?
 - d Een reu in de F₁ produceert zaadcellen. Welke allelen kunnen in deze zaadcellen voorkomen?
- 21 Bekijk afbeelding 19.
- a Wat is de kans dat een puppy in de F₂ genotype BB heeft?
 - b Welk fenotype heeft deze puppy?
 - c Wat is de kans dat een puppy in de F₂ genotype bb heeft? Welk fenotype heeft deze puppy?
 - d Wat is de kans dat een puppy in de F₂ genotype Bb heeft? Welk fenotype heeft deze puppy?
 - e Wat is de kans dat een puppy in de F₂ zwartharig is? En hoe groot is de kans dat een puppy bruinharig is?
- 22 Bij cavia's is het allel voor zwarte haarkleur (H) dominant over het allel voor witte haarkleur (h). Een zwarte cavia die homozygoot is voor de haarkleur, paart een aantal malen met een witte cavia. De nakomelingen in de F₁ paren onderling, waardoor een F₂ ontstaat. In afbeelding 20 zie je de kruising schematisch weergegeven.
- a Neem het kruisingsschema over en vul het in.
 - b Welke vachtkleur(en) hebben de nakomelingen in de F₁?
 - c Welke vachtkleur(en) hebben de nakomelingen in de F₂?

▼ Afb. 20 Een kruising van een zwarte cavia met een witte cavia.



F ₂		
	...	...
...	...	...
...	...	...

- 23 a Hoe groot is de kans dat een nakomeling in de F₁ homozygoot is voor de haarkleur?
- b Hoe groot is de kans dat een nakomeling in de F₂ homozygoot is voor de haarkleur?
 - c Hoe groot is de kans dat de eerste nakomeling in de F₂ zwartharig is?
 - d Is deze kans even groot voor de tweede nakomeling?
- 24 a Er worden in totaal veertig dieren in de F₂ geboren. Hoeveel van deze dieren zullen naar verwachting zwartharig zijn? En hoeveel witharig?
- b Wat is de verhouding van genotypen in de F₂?
Vul in: HH : Hh : hh = ... : ... : ...
 - c Wat is de verhouding van fenotypen in de F₂?
Vul in: zwartharig : witharig = ... : ...

- 25 Mensen met twee kopieën van de lange variant van het 5-HTTLPR-gen voelen zich vaker dan gemiddeld gelukkig. De lange variant (b) van het 5-HTTLPR-gen is recessief ten opzichte van de korte variant (B). Een vrouw die behoort tot de groep die zich vaker dan gemiddeld gelukkig voelt en een man die heterozygoot is voor het HTTLPR-gen krijgen samen een aantal kinderen.
- Wat zijn de genotypen van deze ouders?
 - Welke allelen kunnen de geslachtscellen van beide ouders bevatten?
 - Maak van deze kruising een kruisingsschema tot aan de F_1 .
 - Hoe groot is de kans dat het eerste kind van deze ouders behoort tot de groep die zich vaker dan gemiddeld gelukkig voelt? En hoe groot is de kans dat het eerste kind niet tot deze groep behoort?

- 26 Een groep ouders die bestaat uit paren met de genotypen Bb en bb heeft samen 96 kinderen.
- Hoeveel van deze kinderen zullen naar verwachting behoren tot de groep die vaker dan gemiddeld gelukkig is? En hoeveel kinderen behoren niet tot deze groep?
 - Welke verhouding van fenotypen komt voor in de nakomelingschap van deze groep ouders?

▼ **Afb. 21** Rode, witte en paarse radijsjes.



- 27 Radijsjes hebben allelen voor rode knolletjes (A^r) en allelen voor witte knolletjes (A^w). Radijsjes die heterozygoot zijn voor de kleur van de knolletjes, hebben paarse knolletjes (zie afbeelding 21). Bij een radijsje met paarse knolletjes vindt zelfbestuiving plaats. Er worden 56 zaden gevormd. Alle 56 zaden ontkiemen.
- Maak een kruisingsschema van deze zelfbestuiving bij radijsjes.
 - Hoeveel F_1 -planten hebben naar verwachting paarse knolletjes? En hoeveel rode knolletjes? En hoeveel witte knolletjes?
 - Welke verhouding van fenotypen komt voor bij de nakomelingen?
- 28 De erfelijke chronische longziekte PCD wordt veroorzaakt door een recessief allel. Een stel met een kinderwens wil graag weten hoe groot voor hen de kans is op een kind met PCD. Zelf hebben ze de aandoening niet. De vrouw vertelt dat haar ouders de ziekte ook niet hebben, maar dat haar zus PCD heeft. Ook de broer van de man heeft PCD, zijn ouders niet. Hoe groot is de kans dat wanneer deze vrouw van haar man in verwachting raakt, het kind PCD heeft? Geef je antwoord in de vorm van een breuk.

VERHOUDING GENOTYPEN EN EEN TESTKRUIJING

Na een kruising kunnen er in de F_1 verschillende verhoudingen voorkomen. Enkele voorbeelden:

- $P: Aa \times aa$.
 - Verhouding van genotypen in de F_1 : $Aa : aa = 1 : 1$.
 - Verhouding van fenotypen in de F_1 : fenotype veroorzaakt door het dominante allel : fenotype veroorzaakt door het recessieve allel = $1 : 1$.
- $P: Aa \times Aa$.
 - Verhouding van genotypen in de F_1 : $AA : Aa : aa = 1 : 2 : 1$.
 - Verhouding van fenotypen in de F_1 : fenotype veroorzaakt door het dominante allel : fenotype veroorzaakt door het recessieve allel = $3 : 1$.

Aan een organisme kun je niet zien of dit homozygoot of heterozygoot is voor een dominant allel. Je kunt hier achterkomen door een **testkruising** uit te voeren (zie afbeelding 22). Bij een testkruising kruis je een organisme met een homozygoot recessief organisme. Uit de F₁ blijkt dan of dit geteste organisme homozygoot of heterozygoot is (zie afbeelding 22.2 en 22.3). Deze test is gebaseerd op de verschillende fenotypen die in de F₁ voorkomen.

▼ Afb. 22 Testkruising.



1 P

indien homozygoot	
	A
a	 Aa
a	 Aa

2 Indien het organisme homozygoot is voor het allelenpaar, zal bij 100% van de nakomelingen in de F₁ het dominante allel tot uiting komen in het fenotype.

indien heterozygoot		
	A	a
a	 Aa	 aa
a	 Aa	 aa

3 Indien het organisme heterozygoot is voor het allelenpaar, zal bij 50% van de nakomelingen in de F₁ het dominante allel en bij 50% het recessieve allel tot uiting komen in het fenotype.

Bij de testkruising AA × aa komen alleen nakomelingen met het genotype Aa voor en komt dus slechts één fenotype voor onder de nakomelingen. Bij de testkruising Aa × aa komen er zowel nakomelingen met het genotype Aa als aa voor. Hier zijn dus twee verschillende fenotypen onder de nakomelingen. Een testkruising is alleen betrouwbaar als de F₁ uit een voldoende groot aantal nakomelingen bestaat. Bij slechts enkele nakomelingen is de verhouding van genotypen en fenotypen in de F₁ te sterk afhankelijk van het toeval.

opdrachten

- 29

De zaden van een erwtenplant zijn groen of geel. Uit een groen zaad en uit een geel zaad ontkiemen erwtenplanten. Deze erwtenplanten worden met elkaar gekruist. Er ontstaan 204 groene zaden en 187 gele zaden.

a

Wat zijn de genotypen van de ouderplanten? Gebruik de letters G en g.

b

Kun je uit deze gegevens afleiden welk allel dominant is: dat voor groene zaden of dat voor gele zaden?
- 30

Van twee andere planten worden nakomelingen verkregen. Hiervan blijken er 28 rode bloemen te dragen en 11 witte bloemen.

a

Wat zijn de genotypen van de ouderplanten? Gebruik de letters A en a.

b

Welk allel is dominant: dat voor een rode bloem of dat voor een witte bloem?

c

Kunnen twee erwtenplanten met rode bloemen, nakomelingen met witte bloemen krijgen? Leg je antwoord uit.

d

Kunnen bij erwtenplanten uit twee witbloemige planten roodbloemige nakomelingen worden verkregen? Leg je antwoord uit.

- 31

Mensen bezitten allelen voor rechtshandigheid en/of voor linkshandigheid. Twee ouders krijgen drie kinderen: twee rechtshandigen en één links-handige.
Kun je uit deze gegevens betrouwbaar afleiden wat het genotype van de ouders is? Leg je antwoord uit.
- 32

Kwekers van planten en fokkers van dieren willen graag gezonde, sterke nakomelingen zonder ziekten en aandoeningen. Een testkruising kan duidelijkheid bieden of een plant of dier een allel bezit dat een ziekte tot gevolg heeft.
Wordt een testkruising ingezet bij recessief overervende aandoeningen of bij dominant overervende aandoeningen?
- 33

Voor hondenfokkers is de vachtkleur belangrijk. Bij honden komen allelen voor die zorgen voor een zwarte (B) of bruine (b) vacht. Een hondenfokker heeft een hond met een zwarte vacht. Het is niet bekend of de hond homozygoot of heterozygoot is voor de vachtkleur.
De hondenfokker kan in dit geval kiezen voor een testkruising. Leg uit hoe de fokker te werk moet gaan bij deze testkruising.
- 34

In afbeelding 23 zie je foutpercentages van een testkruising bij een verschillend aantal nakomelingen. Bij paarden is het allel voor donkere vachtkleur recessief ten opzichte van het allel voor een blonde vachtkleur. Een merrie (♀) met blonde vachtkleur wordt driemaal gekruist met een hengst (♂) met een donkere vachtkleur. Er worden in totaal drie veulens met blonde vachtkleur geboren.

a

Met welk foutpercentage kun je zeggen dat de merrie homozygoot is voor de blonde vachtkleur?

b

In welk geval kan bij één nakomeling van de F₁ het foutpercentage van een testkruising toch 0% zijn?

c

Leg uit welke formule aan deze tabel ten grondslag ligt en bereken met deze formule het foutpercentage bij tien nakomelingen met blonde vachtkleur.

▼ **Afb. 23** Foutpercentages bij een testkruising.

Aantal nakomelingen	Foutpercentage (%)
1	50
2	25
3	12,5
4	6,25
5	3,125

►► PRACTICUMOPDRACHT 1

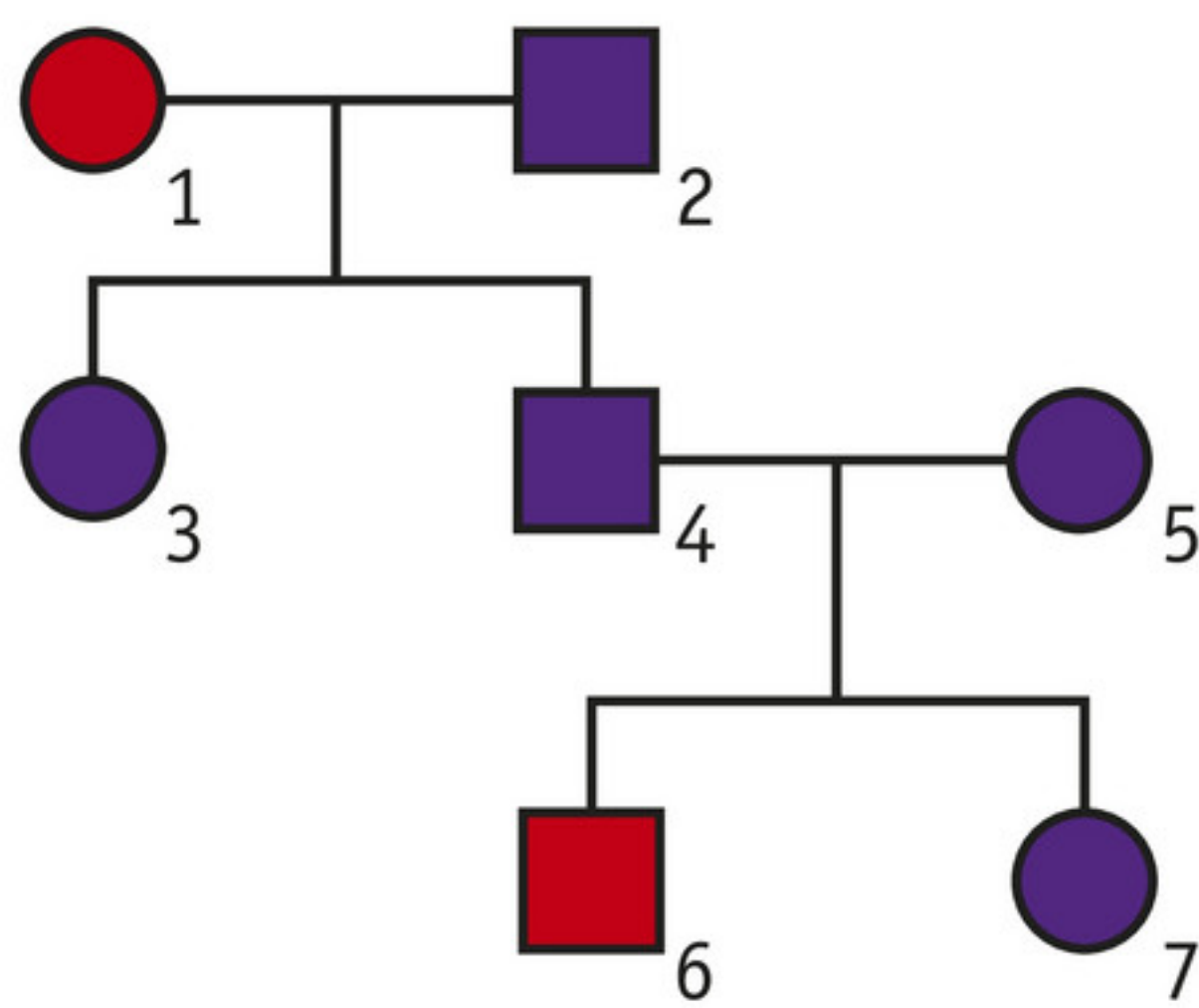
STAMBOMEN

In afbeelding 24 is een voorbeeld van een **stamboom** getekend. Hieruit is af te lezen dat beide ouders en twee van de drie kinderen zwart haar hebben. Eén kind heeft blond haar. Uit dit voorbeeld blijkt dat twee ouders met gelijk fenotype een of meer nakomelingen kunnen krijgen met een afwijkend fenotype. Dit is alleen mogelijk als beide ouders heterozygoot zijn (Aa) en deze nakomeling(en) homozygoot recessief (aa).

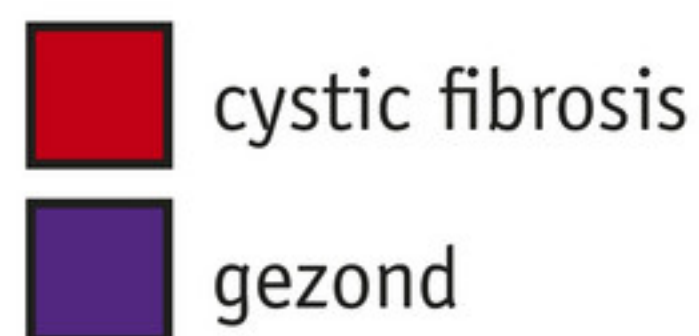
► **Afb. 24** Een stamboom.



▼ **Afb. 25** Stamboom van een familie waarin CF voorkomt.



Legenda:



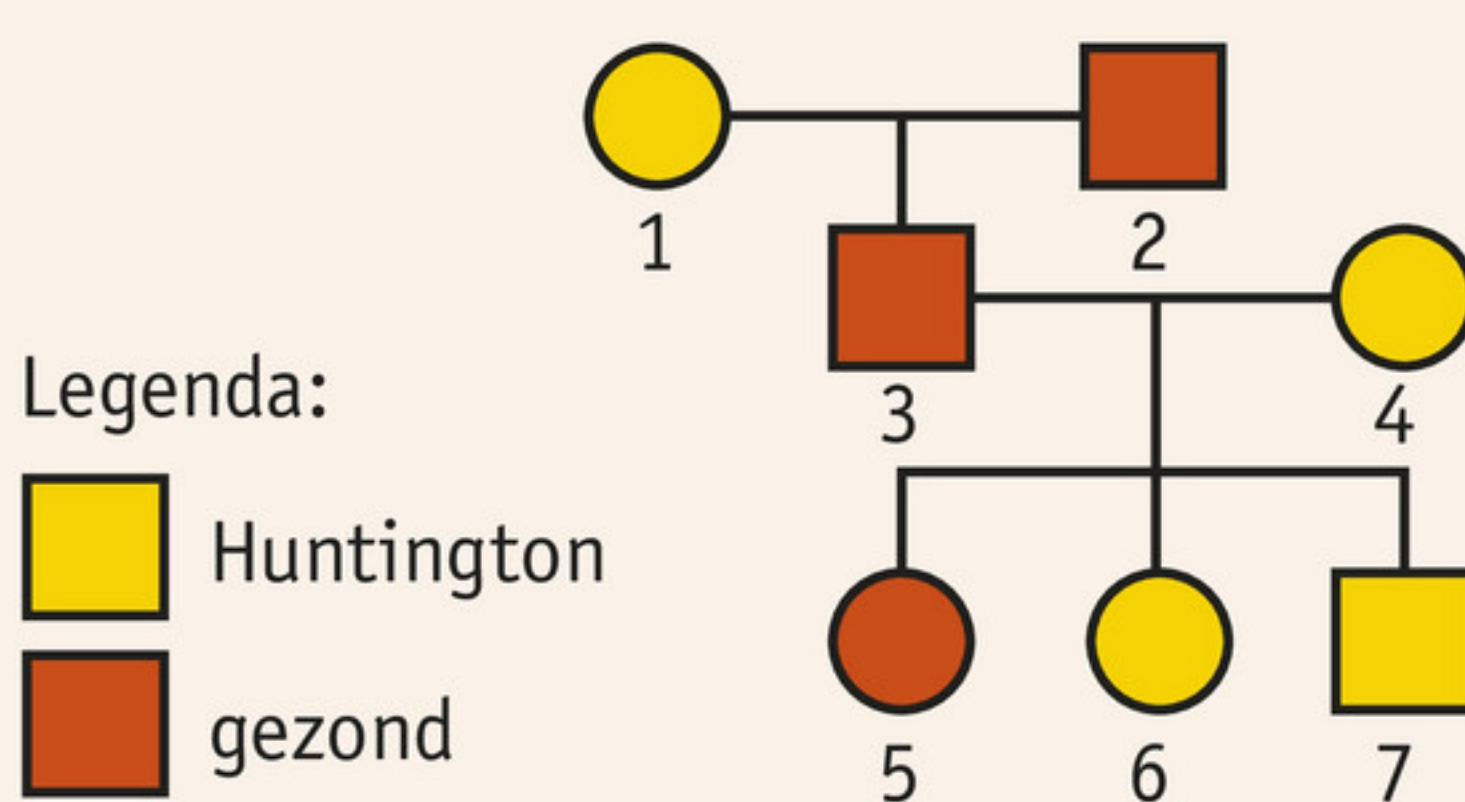
opdrachten

- 35** In afbeelding 25 is een stamboom gegeven van een familie waarin taaislijmziekte (CF) voorkomt.
- Bij taaislijmziekte is het slijm in de luchtwegen en in de afvoerbuizen van klieren taaier en dikker dan normaal. Dat kan leiden tot chronische longinfecties waardoor de longen steeds slechter gaan functioneren. CF wordt veroorzaakt door een recessief allel. Ongeveer één op de twintig personen bezit dit allel.
- Leg uit dat je uit ouders 4 en 5 en hun kind 6 kunt afleiden dat het allel dat taaislijmziekte veroorzaakt recessief is. Noteer daarbij de genotypen van persoon 4, 5 en 6.
 - Welke personen zijn homozygoot recessief?
 - Leid uit het genotype van persoon 1 af wat het genotype van persoon 3 is.
 - Van welke personen kun je niet met zekerheid het genotype vaststellen? Leg uit.
- 36** Mensen met CF hebben spijsverteringsstoornissen en regelmatig infecties aan het ademhalingsstelsel. Dit zorgt ervoor dat patiënten vaak medische zorg nodig hebben en hun fysieke ontwikkeling meestal achterblijft. Hun gemiddelde levensverwachting is veertig jaar.
- Het is mogelijk om tijdens de zwangerschap bij een foetus te bepalen of het kind CF heeft, door DNA-onderzoek van erfelijk materiaal van de foetus (via een vruchtwaterpunctie). Als de diagnose CF wordt gesteld, krijgen ouders de keuze of ze de zwangerschap willen beëindigen (abortus) of dat zij de zwangerschap voortzetten. Die keuze moeten zij maken binnen 24 weken zwangerschap.
- Wat vind je van de mogelijkheid om een DNA-onderzoek naar CF uit te laten voeren? En wat vind je van de mogelijkheid om bij een foetus met CF abortus te plegen?

CONTEXT

Wetenschap

▼ **Afb. 26** Onderzoeksresultaat van een Huntingtonpatiënt en een gezonde persoon.



Legenda:



Ziekte van Huntington

De ziekte van Huntington is een ongeneeslijke erfelijke zenuwziekte, die zich pas rond het veertigste levensjaar openbaart. Mensen die aan de ziekte lijden, vertonen allerlei onwillekeurige spierbewegingen en psychische veranderingen gedurende een periode van tien tot twintig jaar, tot de dood erop volgt.

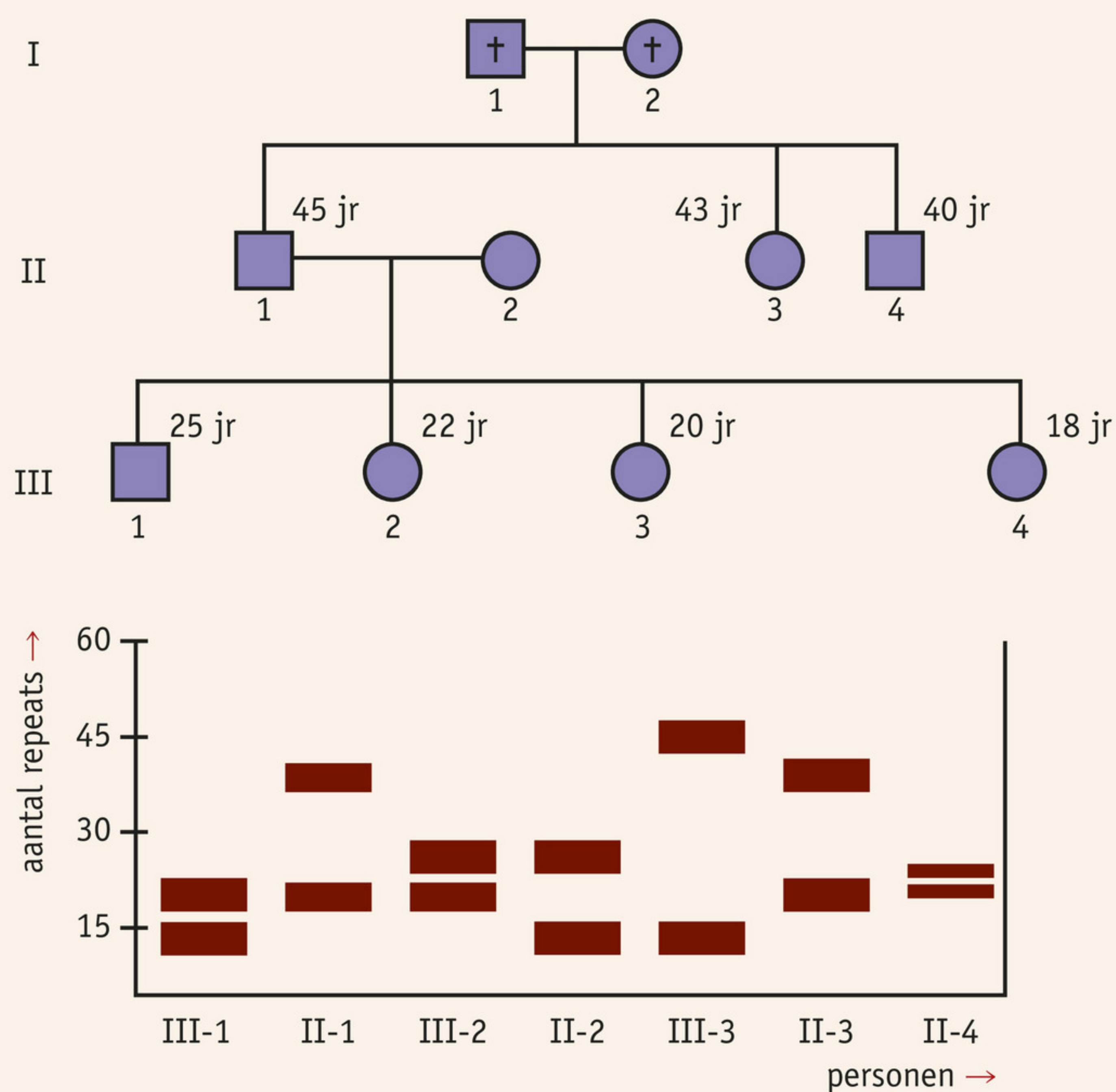
De ziekte wordt veroorzaakt door te veel herhalingen van de basen C, A en G binnen het huntingtine-gen (HHT-gen) dat verantwoordelijk is voor de productie van het eiwit huntingtine. Herhalingen (repeats) van basen komen in het DNA van alle mensen voor. Te veel herhalingen veroorzaken soms een ziekte. Doordat het HHT-gen in plaats van 10 tot 25 keer, 36 tot 120 voorkomt, vindt er een opeenstapeling plaats van het eiwit huntingtine. Hierdoor wordt het functioneren van zenuwcellen verstoord.

opdrachten

- 37** Bij mensen is het allel dat de oorzaak is voor de ziekte van Huntington (H) dominant over het allel voor gezond huntingtine (h).
- In afbeelding 26 is een stamboom gegeven. Neem deze stamboom over en noteer bij elke persoon uit de stamboom het genotype.

- 38 In afbeelding 27 is een stamboom gegeven van een familie waarin Huntington voorkomt, samen met een DNA-analyse van het huntingtine-gen van de personen uit deze familie. Van de grootouders, nummer I-1 en I-2, is geen DNA-onderzoek bekend. Grootmoeder (nummer I-2) is overleden aan de ziekte van Huntington.
- a Hoeveel van haar kinderen (generatie II in de stamboom) hebben de ziekte van Huntington?
- b Welke andere personen in deze familie hebben de ziekte van Huntington, of zullen in de toekomst de symptomen van de ziekte kunnen krijgen?

► **Afb. 27** Stamboom van een familie waarin Huntington voorkomt met een DNA-analyse van het huntingtine-gen.



- 39 Bij Europeanen komt (de aanleg voor) de ziekte van Huntington voor bij 0,5 op de 1000 geboorten. Leg uit dat het kleine aantal geboorten van baby's met het afwijkende huntingtine-allel waarschijnlijk niet een gevolg is van een geboortepanning gedurende de laatste eeuwen. Leg ook uit dat er tegenwoordig wel sprake kan zijn van een selecterende werking van het afwijkende allel.

Leerdoelen

- Je kunt beschrijven op welke wijze geslachtschromosomen het geslacht van een mens bepalen.
- Je kunt een kruisingsschema maken voor X-chromosomale overerving en hieruit of uit stambomen de frequentie van genotypen en fenotypen van nakomelingen afleiden.

4 Geslachtschromosomen

Thomas Morgan kruiste in 1910 bij fruitvliegjes een roodogig vrouwtje met een witogig mannetje. Alle nakomelingen hadden rode ogen. Toen hij de nakomelingen onderling liet paren, ontstond een bijzonder resultaat: alle witogige vliegjes waren mannetjes en alle vrouwtjes hadden rode ogen.

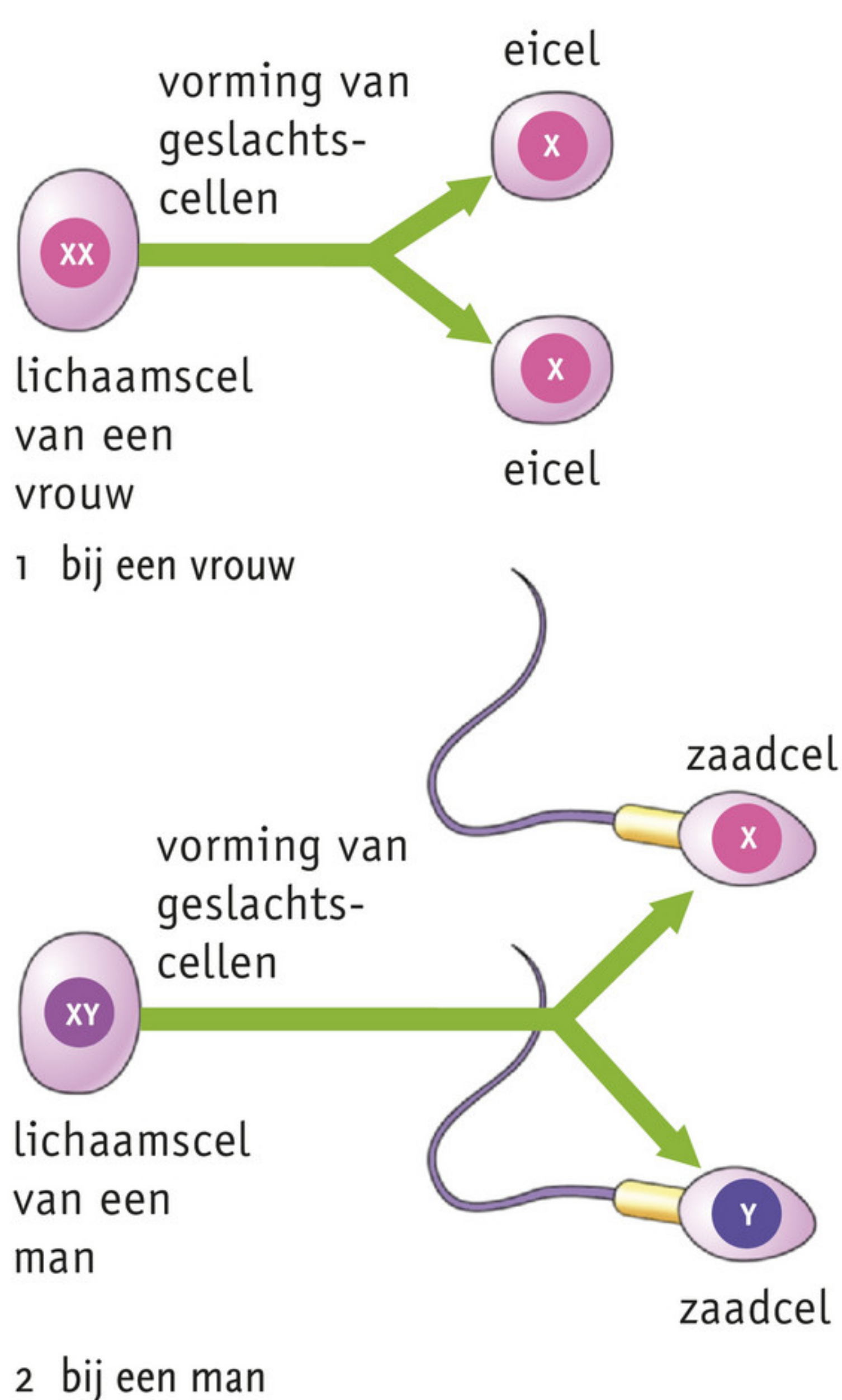
GESLACHTSCHROMOSOMEN

In afbeelding 1 in basisstof 1 staat een karyotype (karyogram) van een man. Het 23e paar chromosomen is bij de man niet aan elkaar gelijk. Het ene chromosoom is het **X-chromosoom**, het andere het **Y-chromosoom** (XY). Bij de vrouw bestaat het 23e chromosomenpaar in een lichaamscel uit twee X-chromosomen (XX). Het karyotype van een organisme kun je ook als formule noteren. Daarbij noteer je eerst het aantal chromosomen, daarna welke geslachtschromosomen voorkomen. Bij mensen is voor een vrouw het normale karyotype [46, XX] en voor een man [46, XY].

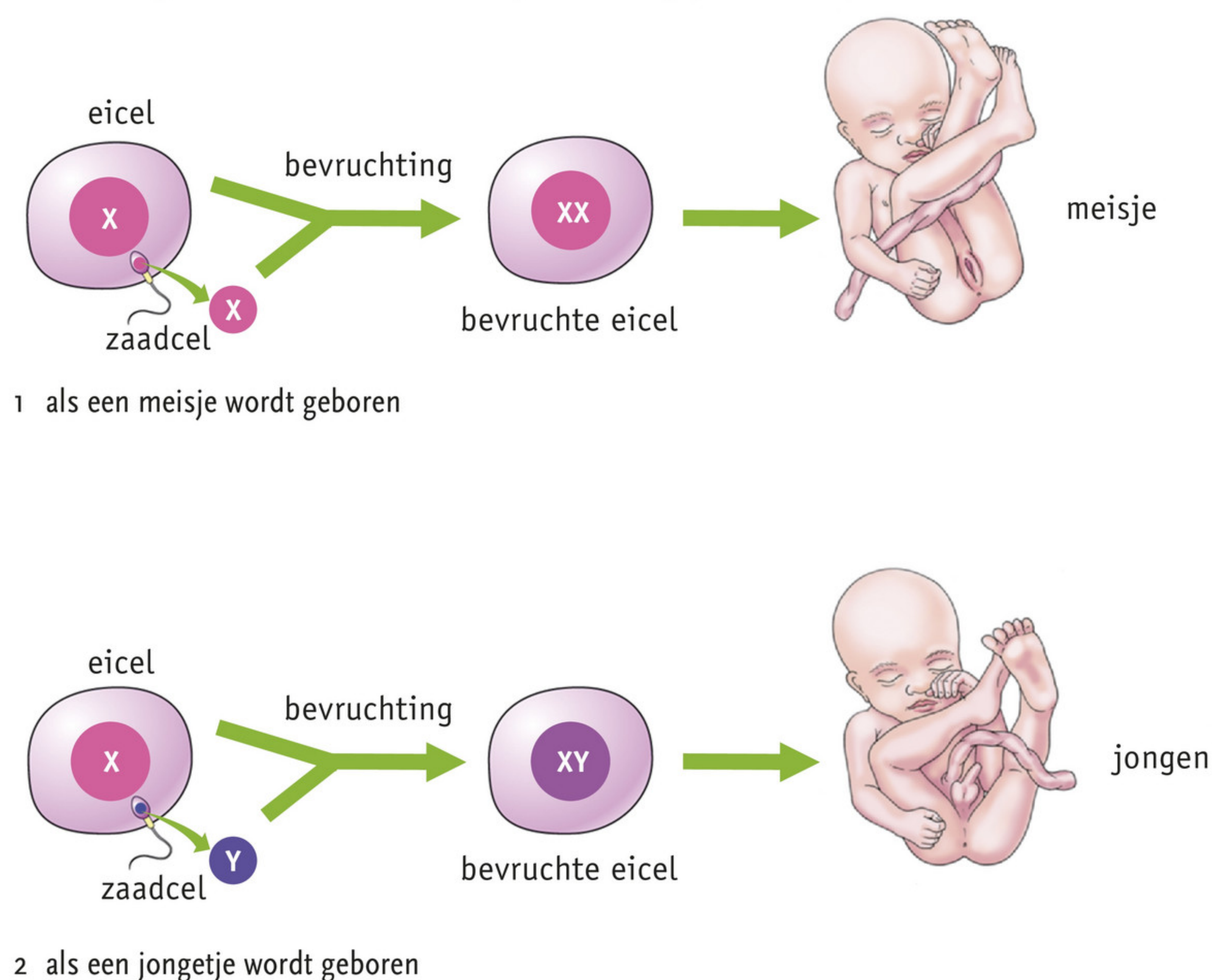
In geslachtscellen komen chromosomen enkelvoudig voor. Geslachtscellen ontstaan na meiose, waarbij de chromosomen van een paar uit elkaar gaan. Een geslachtscel bevat slechts één geslachtschromosoom. Een eikel van een vrouw bevat altijd een X-chromosoom. Een zaadcel van een man kan een X-chromosoom of een Y-chromosoom bevatten (zie afbeelding 28).

Als bij bevruchting de kern van de zaadcel een X-chromosoom bevat, ontstaat een zygote met twee X-chromosomen in de kern. Hieruit ontwikkelt zich een meisje (XX). Als de kern van de zaadcel een Y-chromosoom bevat, ontstaat een zygote met een X-chromosoom en een Y-chromosoom in de kern. Hieruit ontwikkelt zich een jongetje (XY). Het geslacht van een mens komt bij de bevruchting vast te liggen. Bepalend hiervoor is het geslachtschromosoom in de zaadcel (zie afbeelding 29).

▼ **Afb. 28** Vorming van geslachtscellen.



▼ **Afb. 29** Geslachtschromosomen bij bevruchting (schematisch).

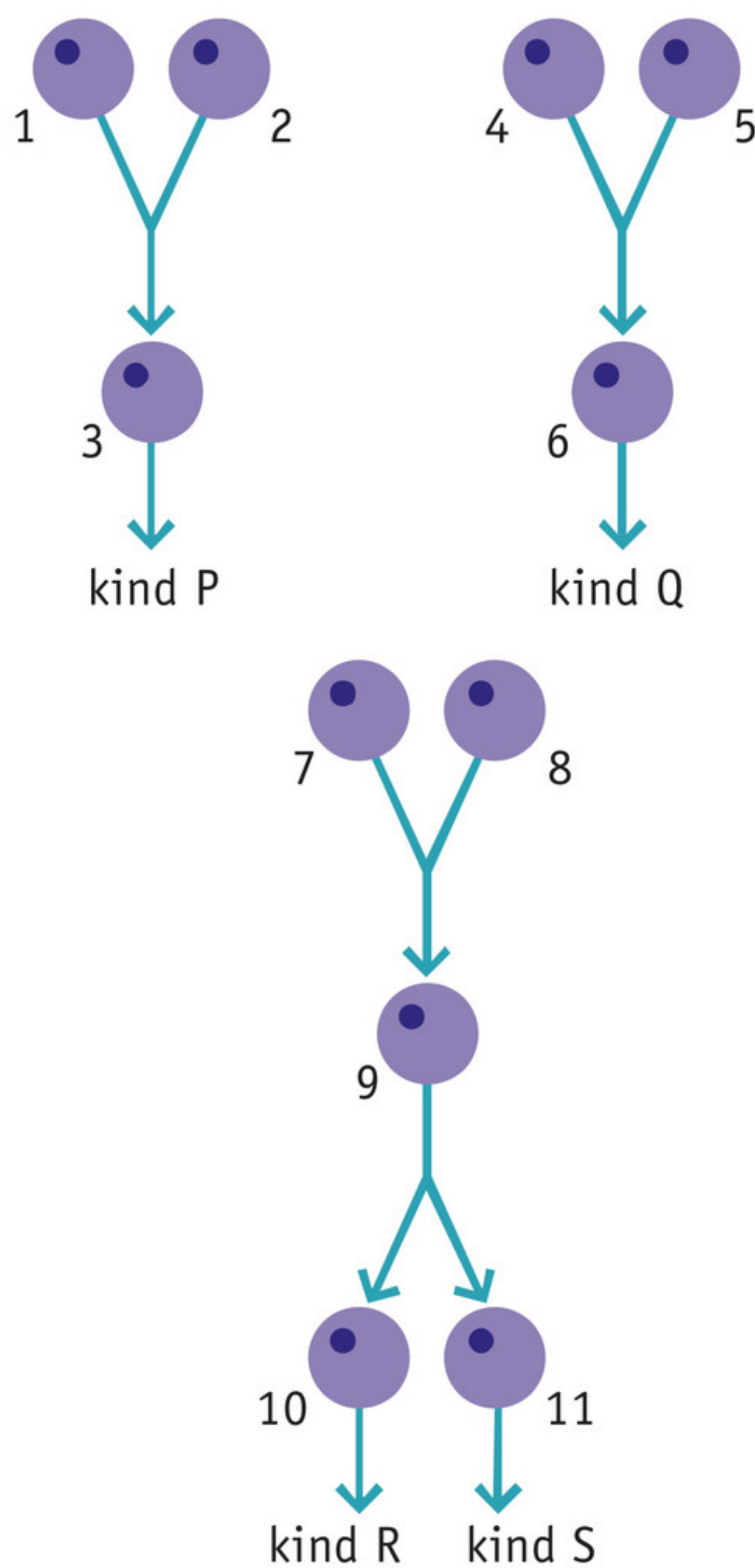


Ook bij de meeste dieren bepaalt één chromosomenpaar het geslacht van het dier. Bij zoogdieren en bij fruitvliegjes hebben de vrouwtjes twee X-chromosomen en de mannetjes een X-chromosoom en een Y-chromosoom in elke lichaamscel. Bij vogels en enkele soorten vissen hebben de mannetjes twee X-chromosomen en de vrouwtjes een X-chromosoom en een Y-chromosoom in elke lichaamscel.

opdrachten

- 40 In welke cellen komen geslachtschromosomen voor: in lichaamscellen, in geslachtscellen of in beide?
- 41 Welk verschil kun je waarnemen als je de mitose van cellen bij een man en bij een vrouw onderzoekt met een microscoop?
- 42 Is het X-chromosoom van een jongen afkomstig van zijn moeder of van zijn vader?
- 43 Bij konijnen zijn de geslachtschromosomen X en Y op dezelfde wijze verdeeld als bij de mens. Voor konijnen geldt $n = 22$, $2n = 44$. Geef het karyotype van een mannetjeskonijn en van een vrouwtjeskonijn in een formule.
- 44 Bij bijen wordt het geslacht op een andere manier bepaald dan door geslachtschromosomen. De mannetjes (darren) ontwikkelen zich uit onbevuchte eicellen. Vrouwelijke bijen ontstaan uit bevruchte eicellen. Voor bijen geldt $n = 16$.
- Hoeveel chromosomen bevat de kern van een pootcel van een koningin? En hoeveel chromosomen bevat zo'n kern van een dar?
 - Hoeveel chromosomen bevat de kern van een eikel van een koningin? En hoeveel chromosomen de kern van een zaadcel van een dar?
- 45 In afbeelding 30 stelt elke cirkel een cel van een mens voor. De kinderen P en Q vormen een tweeling. Kind Q is een meisje en kind R een jongen.
- Welke cellen in de afbeelding zijn geslachtscellen?
 - Welke cellen in de afbeelding bevatten elk een paar geslachtschromosomen?
 - Welke twee kinderen vormen een eenzijdige tweeling?
 - Is uit de voorgaande gegevens met zekerheid het geslacht van kind P vast te stellen? En het geslacht van kind S?
 - Cel 7 is een zaadcel. Welke geslachtschromosomen bevatten cel 7 tot en met 11?

▼ Afb. 30 Cellen van een mens.



X-CHROMOSOMALE OVERERVING

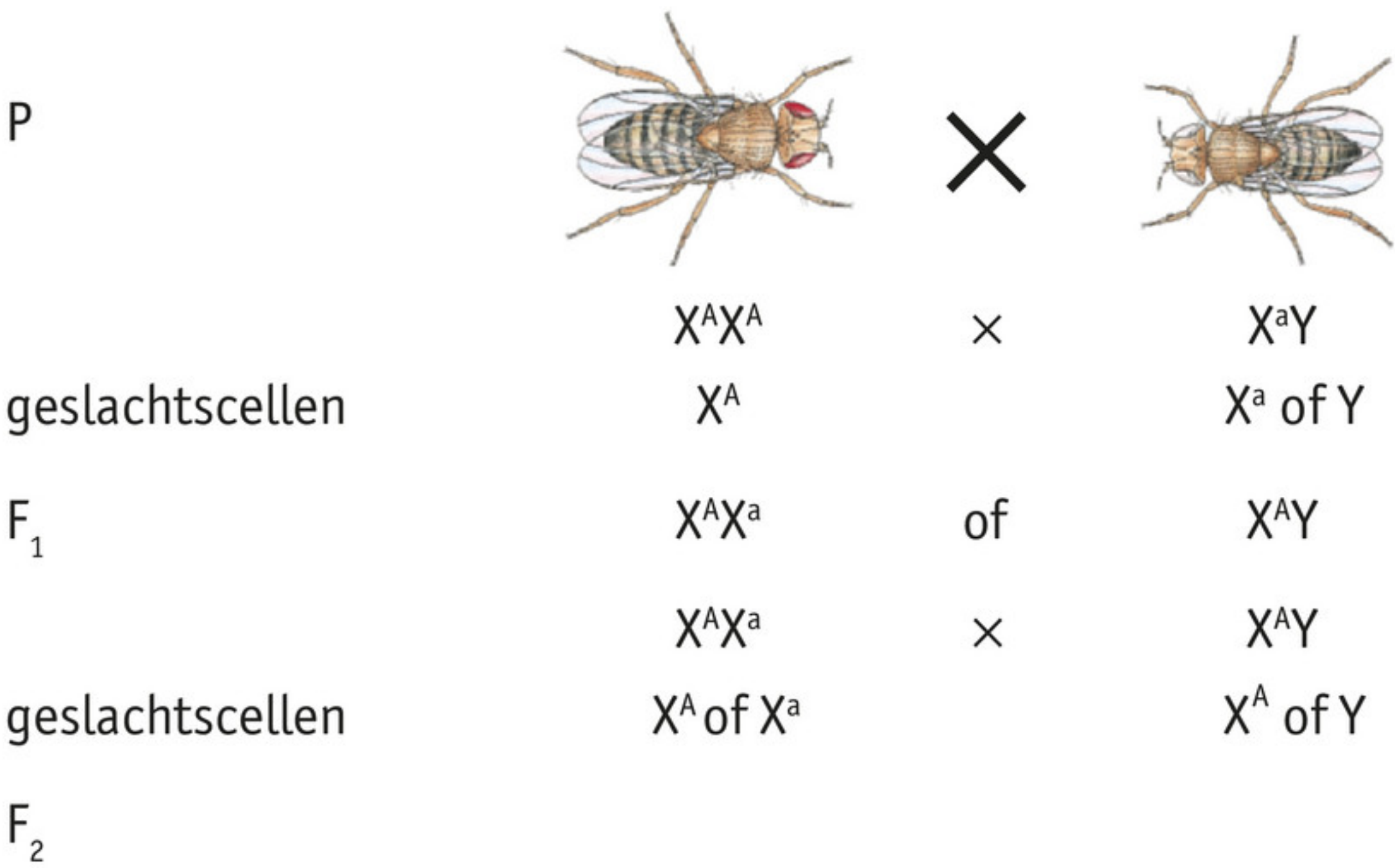
Net als in autosomen liggen in geslachtschromosomen ook genen. Alleen liggen in de X-chromosomen andere genen dan in het Y-chromosoom. Daardoor erven eigenschappen op geslachtschromosomen anders over dan in autosomen. Genen die alleen in het X-chromosoom voorkomen, noem je **X-chromosomaal**.

In een kruisingsschema geef je een dominant X-chromosomaal allel aan met X^A en een recessief X-chromosomaal allel met X^a . Voor een eigenschap veroorzaakt door een X-chromosomaal gen kan een vrouw homozygoot ($X^A X^A$ of $X^a X^a$) of heterozygoot ($X^A X^a$) zijn. Een vrouw die hiervoor heterozygoot is, is een **draagster**. Voor een man zijn de termen 'homozygoot' en 'heterozygoot' niet van toepassing op eigenschappen die X-chromosomaal overerven. Een man heeft immers maar één X-chromosoom en kan voor zo'n eigenschap als genotype $X^A Y$ of $X^a Y$ hebben.

opdrachten

46 De Amerikaanse geneticus Morgan heeft eind negentiende en begin twintigste eeuw veel onderzoek gedaan naar overerving bij fruitvliegjes (*Drosophila melanogaster*). Zo kruiste hij onder andere een homozygoot roodogig vrouwtje met een witogig mannetje (zie afbeelding 31).

► Afb. 31 Kruising van Morgan.



- a Welke fenotypen voor de erfelijke eigenschap oogkleur komen voor in de F_1 en in welke verhouding?

b Welke fenotypen komen voor in de F_2 en in welke verhouding?

c Bij welke van deze generaties is er verschil in oogkleur tussen de mannetjes en de vrouwtjes?
- 47 Morgan kruiste een roodogig vrouwtje met een witogig mannetje. De tegenovergestelde kruising (een witogig vrouwtje × een roodogig mannetje) noem je de reciproque (= omgekeerde) kruising.
- a Wat zijn de genotypen van de ouders bij deze reciproque kruising?

b Maak een kruisingsschema van deze kruising tot en met de F_2 .

c Welke fenotypen komen voor in de F_1 en in welke verhouding?

d Welke fenotypen komen voor in de F_2 en in welke verhouding?

e Bij welke van deze generaties is er verschil in oogkleur tussen de mannetjes en de vrouwtjes?

KLEURENBLINDHEID EN HEMOFILIE

Een voorbeeld van een X-chromosomaal gen bij de mens is het gen voor roodgroen-kleurenblindheid. Mensen met roodgroenkleurenblindheid kunnen de kleuren rood en groen niet onderscheiden (zie afbeelding 32.1). Mannen die dit gen hebben, zijn altijd kleurenblind, terwijl kleurenblinde vrouwen homozygoot recessief zijn. Er bestaan ook andere vormen van kleurenblindheid. Ook bloederziekte of hemofilie wordt veroorzaakt door een X-chromosomaal gen. Bloederziekte komt vrijwel alleen bij mannen voor en is een aandoening waarbij het bloed niet goed kan stollen.

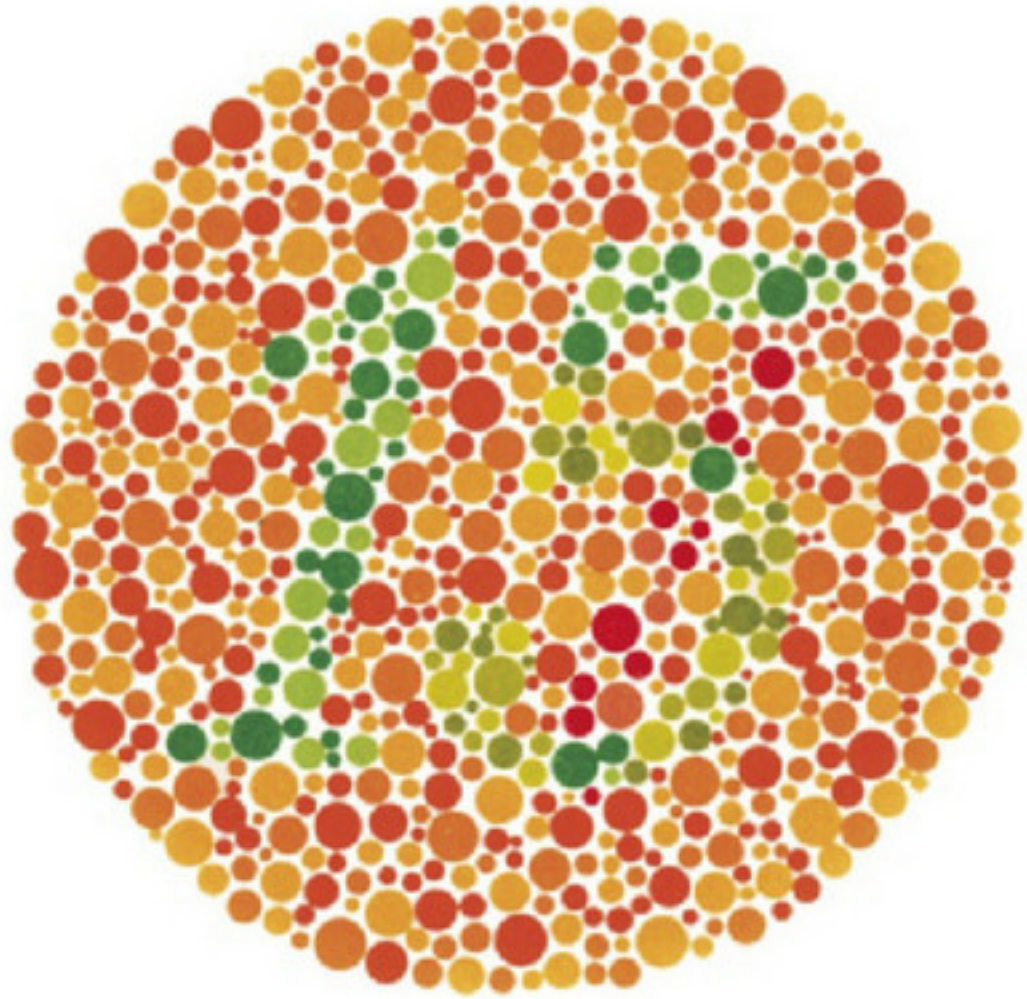
opdrachten

- 48 Bij mensen is het allel voor kleurenblindheid recessief en X-chromosomaal (X^k). Een man die alle kleuren kan zien en zijn vrouw die draagster is, krijgen een kind.
- a Maak een kruisingsschema van deze kruising.

b Hoe groot is de kans dat het kind kleurenblind is als een dochter wordt geboren?

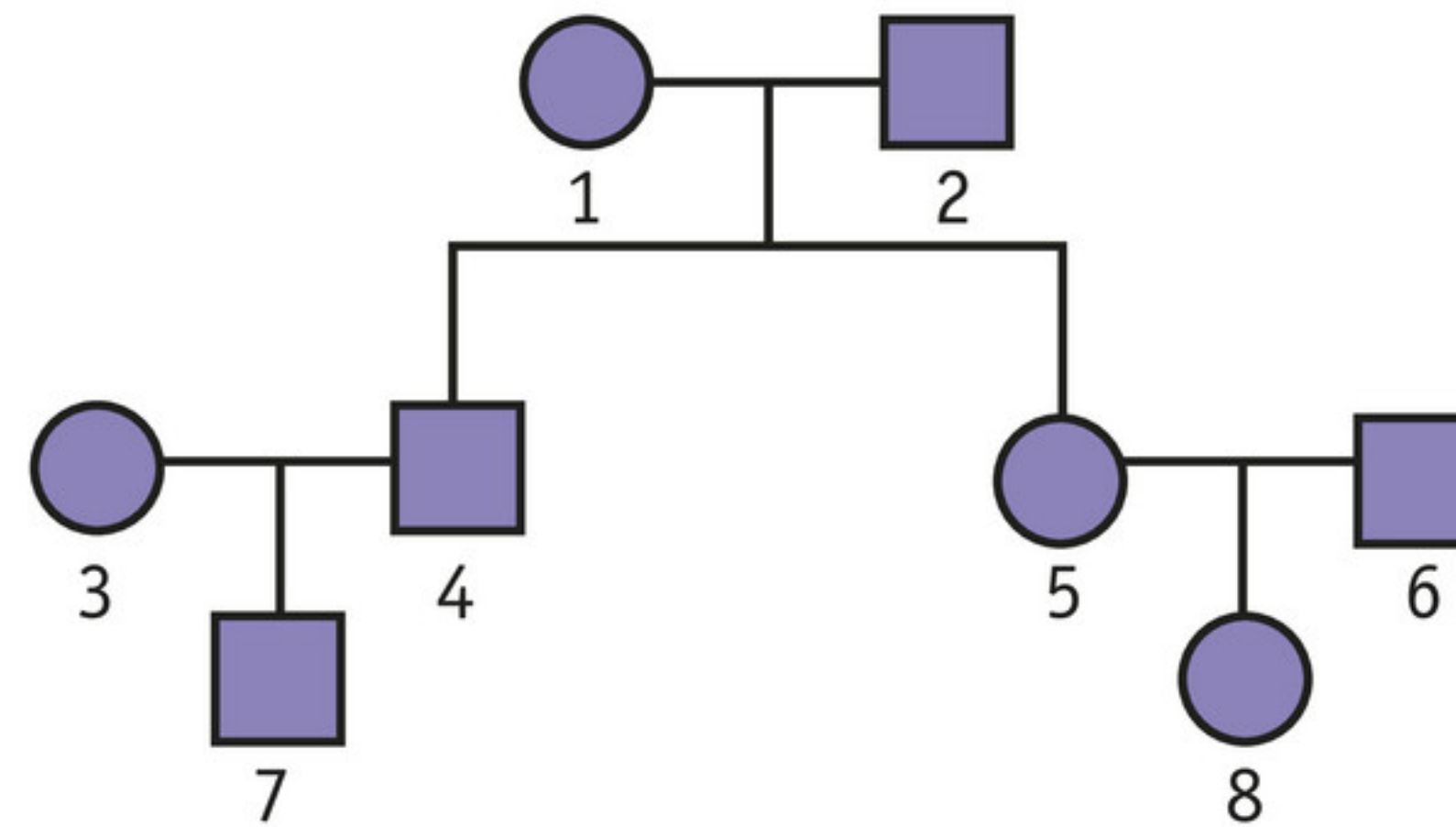
c Hoe groot is de kans dat het kind kleurenblind is als een zoon wordt geboren?

▼ **Afb. 32** Roodgroenkleurenblindheid.



1 test voor roodgroenkleurenblindheid

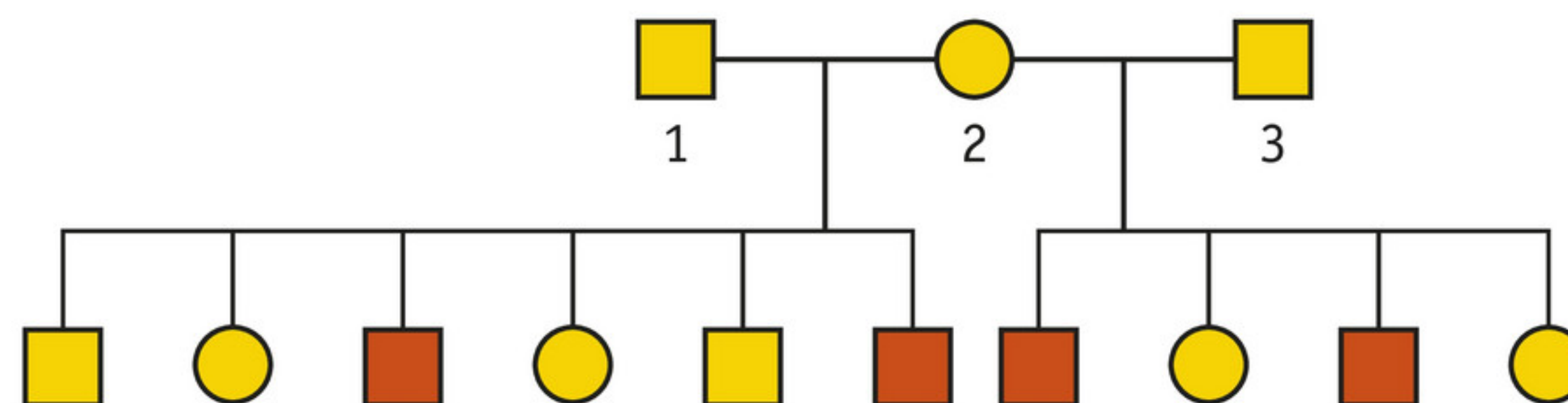
- 49 In afbeelding 32.2 is een stamboom getekend van een familie waarin kleurenblindheid voorkomt.
- a Persoon 7 is kleurenblind.
Kun je met zekerheid zeggen dat persoon 3 kleurenblind is? En persoon 4?
- b Persoon 8 is ook kleurenblind.
Kun je met zekerheid zeggen dat persoon 5 kleurenblind is? En persoon 6?



2 stamboom van een familie waarin kleurenblindheid voorkomt

- 50 In een bepaalde familie kunnen de vader en de moeder van een pasgeboren kind beiden alle kleuren zien. De twee grootvaders zijn beiden kleurenblind. Als het kind een jongetje is, is dan de kans op kleurenblindheid groter dan als het kind een meisje is? Leg je antwoord uit.
- 51 Een vrouw heeft kinderen uit twee huwelijken. Vier van haar kinderen hebben een zeer zeldzame erfelijke aandoening. In afbeelding 33 is de stamboom getekend van deze familie. Er wordt van uitgegaan dat geen mutaties zijn opgetreden.
- Drie leerlingen bespreken deze stamboom. Ze doen alle drie een uitspraak over de aandoening bij deze vier kinderen.
- Leerling 1: Het gen dat de aandoening veroorzaakt, is recessief en niet X-chromosomaal.
 - Leerling 2: Het gen dat de aandoening veroorzaakt, is recessief en X-chromosomaal.
 - Leerling 3: Het gen dat de aandoening veroorzaakt, is Y-chromosomaal.
- Geef bij elke uitspraak een argument op basis van de informatie in de stamboom, waaruit blijkt dat de uitspraak óf waarschijnlijk juist is óf waarschijnlijk onjuist is óf zeker onjuist is.

► **Afb. 33** Stamboom van een familie met een zeldzame erfelijke aandoening.



Legenda:

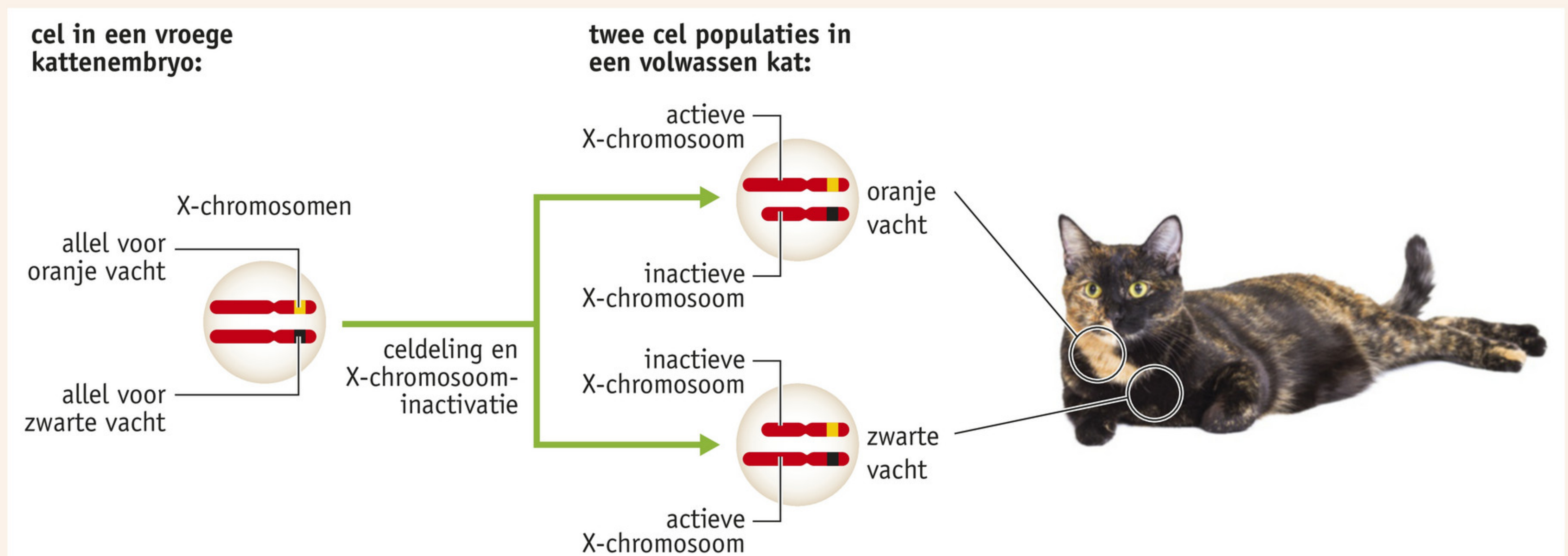
-  vrouw zonder de aandoening
-  man zonder de aandoening
-  man met de aandoening

Eén X is genoeg

Een schildpadkat heeft een vacht met oranje en zwarte vlekken (zie afbeelding 34). Het gen voor de vachtkleur ligt op het X-chromosoom. Doordat het X-chromosoom veel groter is dan het Y-chromosoom, bevat het veel meer genen. Vrouwen hebben als het ware alle kenmerken op het X-chromosoom dubbel en dat werkt niet in een cel. Daarom is bij vrouwen, vroeg in de embryonale ontwikkeling, volledig willekeurig een van de X-chromosomen uitgeschakeld. Daardoor ontstaat er een mozaïek van twee typen cellen: cellen met actieve X-chromosomen afkomstig van de vader en cellen met actieve X-chromosomen afkomstig van de moeder.

Bij een schildpadkat zijn er twee allelen op het X-chromosoom die de kleur bepalen: oranje en zwart. Bij een heterozygote poes worden de oranje vlekken gevormd door cellen met een actief oranje allel en zwarte vlekken door cellen met een actief zwart allel.

▼ **Afb. 34** Inactivatie van het X-chromosoom bij een schildpadkat.



opdrachten

- 52 Katers krijgen onder normale omstandigheden geen schildpadvacht. Leg dit uit.
- 53 De allelen X^D voor oranje en X^d voor zwarte vachtkleur zijn X-chromosomaal. Het precieze patroon van oranje en zwarte vlekken is afhankelijk van het stadium van de embryonale ontwikkeling waarin een X-chromosoom is uitgeschakeld.
- Een oranje kater paart met een homozygoot zwarte poes. Ze krijgen vier kittens, allemaal vrouwtjes:
- poes 1 is oranje;
 - poes 2 is zwart;
 - poes 3 is voor ongeveer twee derde deel oranje; het oranje wordt afgewisseld met vijf zwarte vlekken;
 - poes 4 is voor ongeveer twee derde deel zwart; het zwart wordt afgewisseld met vijf oranje vlekken.
- Bij welke van de poezen 1, 2, 3 en 4 zal het X^D -chromosoom in de cellijn die de vachtkleur bepaalt, het vroegst in de embryonale ontwikkeling zijn uitgeschakeld? Leg uit.

- 54 In een nest met vijf kittens zitten twee poezen met een schildpadvacht, één poes met een zwarte vacht, één kater met een oranje vacht en één kater met een zwarte vacht.
Leg met behulp van een kruisingsschema of stamboom uit welke genotypen beide ouders hebben.
Tip:
Zet eerst de genotypen van de kittens in het schema; begin bij de zwarte poes. Doordat deze het X-chromosoom van de vader en de moeder krijgt, weet je dat de vader een zwarte vacht heeft. Het X-chromosoom voor de oranje vacht is afkomstig van de moeder.

Leerdoel

- Je kunt kruisingsschema's maken voor dihybride kruisingen met onafhankelijke overerving. Uit deze kruisingen of uit stambomen kun je de frequentie van genotypen en fenotypen van nakomelingen afleiden.

► **Afb. 35** Katten hebben verschillende vachtkleuren.

5

Dihybride kruisingen

Een kattenfokker kruiste twee 'black tabby' katten met elkaar om dezelfde kittens te krijgen als hun ouders. Tot zijn verbazing kreeg hij een nest kittens die allemaal een egaal 'cinnamon' kleur hadden (zie afbeelding 35).



1 black tabby

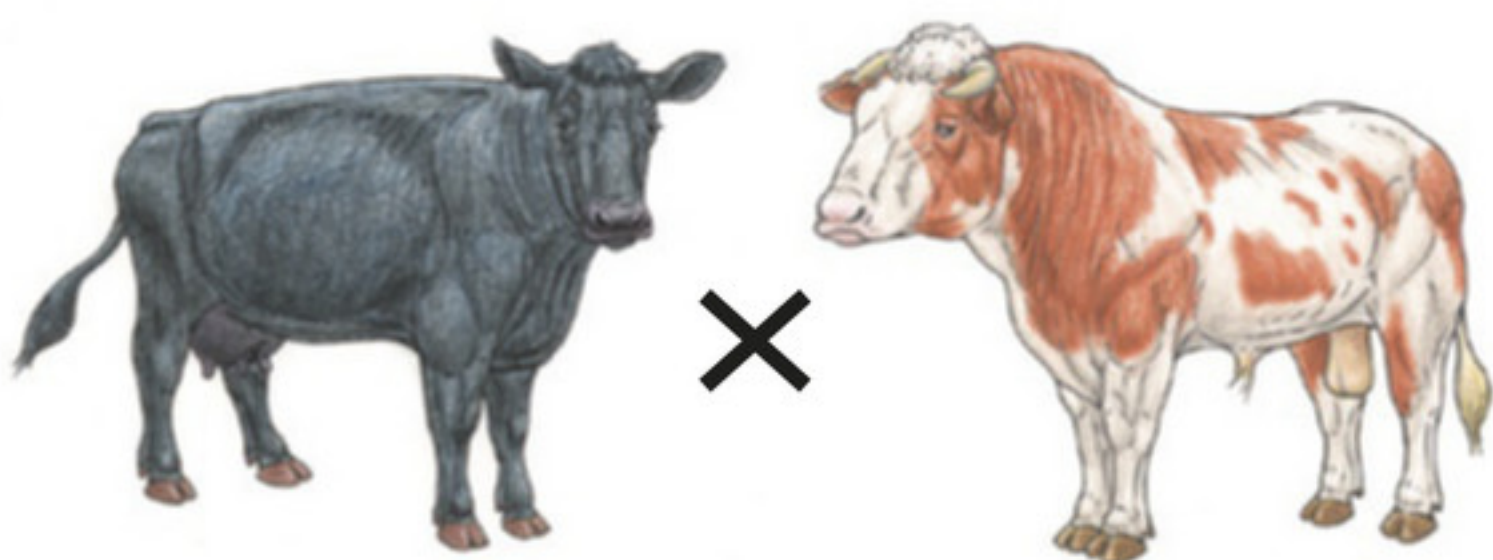


2 egaal cinnamon

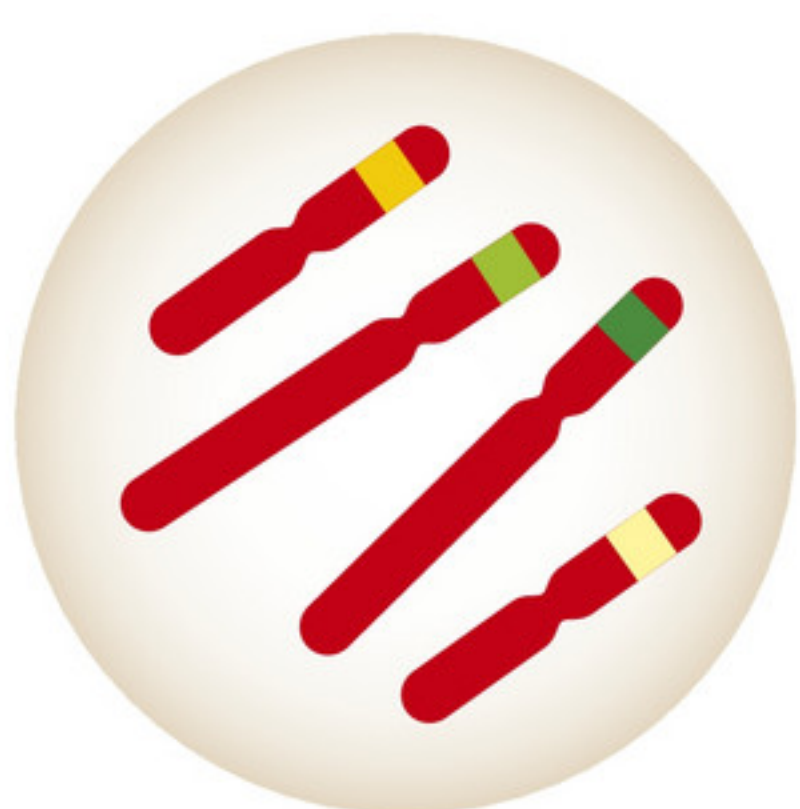
DIHYBRIDE KRUISINGSVRAAGSTUK

Bij runderen is het allel voor zwarte haarkleur (A) dominant over het allel voor rode haarkleur (a). Het allel voor effen vacht (B) is dominant over het allel voor gevlekte vacht (b). Wanneer de genenparen in verschillende chromosomenparen liggen, geldt Mendels wet van **onafhankelijke overerving**. Genen kunnen daardoor onafhankelijk van elkaar in geslachtscellen terechtkomen.

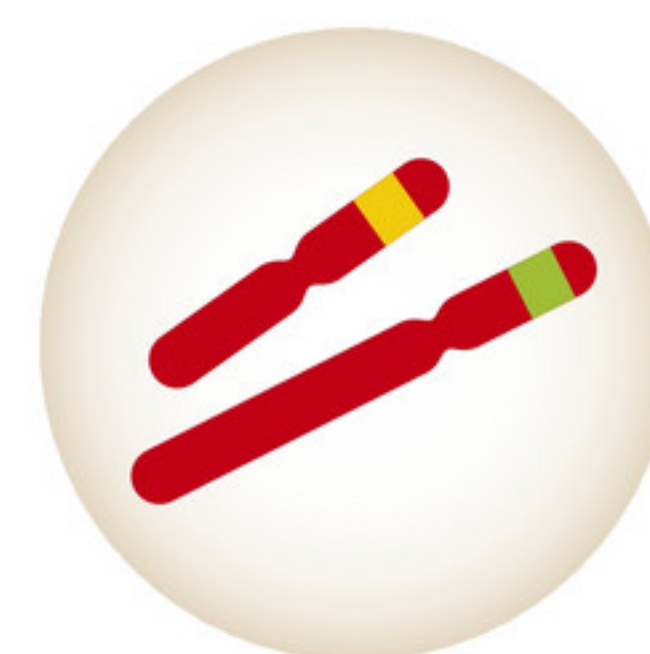
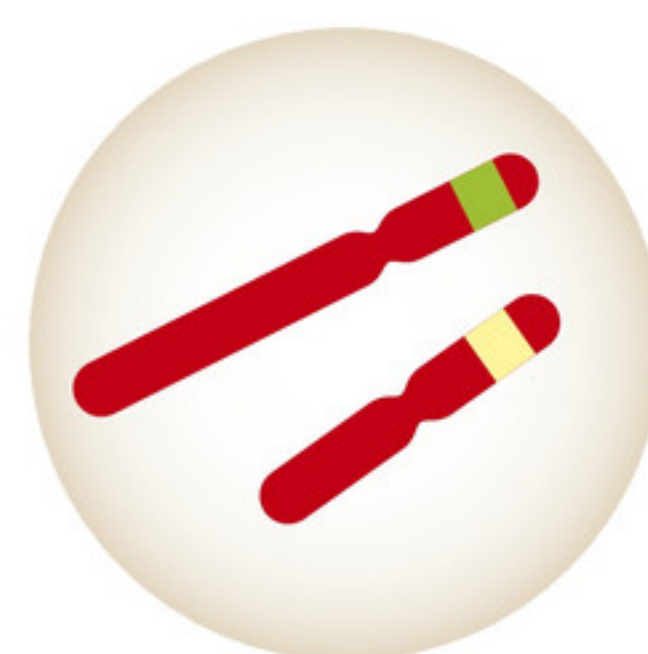
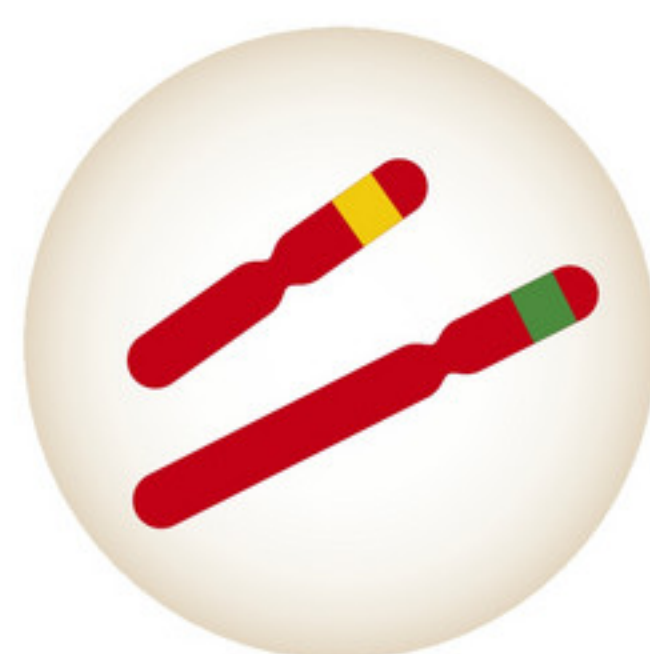
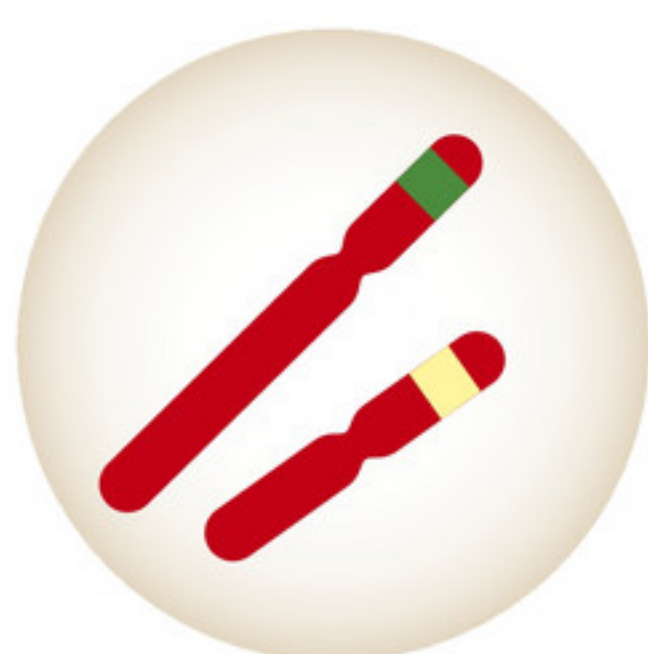
▼ **Afb. 36** Dihybride kruising van zwarte effen koe en roodbonte stier.



▼ **Afb. 37** Vorming van geslachtscellen (schematisch).



Geslachtsmoedercel



Mogelijke geslachtscellen

-  allel A
-  allel a
-  allel B
-  allel b

Een zwarte effen koe die voor beide eigenschappen homozygoot is, wordt een aantal malen gekruist met een roodbonte stier (zie afbeelding 36). Zo'n kruising waarbij gelet wordt op de overerving van twee eigenschappen, noem je een **dihybride kruising**. De dieren in de F_1 planten zich onderling voort.

Welke fenotypen komen voor in de F_2 en in welke verhouding? Je lost dit vraagstuk op in dezelfde stappen als bij een monohybride kruising.

1 *Wat zijn de genotypen van de ouders? Geef deze genotypen in een kruising weer.* De koe is homozygoot zwart en homozygoot effen (AABB). De stier is roodbont, dat wil zeggen roodgevekt (aabb). De kruising is dan: AABB × aabb.

2 *Welke allelen kunnen de geslachtscellen van beide ouders bevatten?*

In geslachtscellen komen allelen enkelvoudig voor (zie afbeelding 37). Van elk chromosomenpaar gaat er één naar een geslachtscel. Doordat in dit voorbeeld één chromosomenpaar de allelen AA bevat, gaat er één chromosoom met allel A naar de eicel. Van het chromosomenpaar met de allelen BB gaat allel B naar dezelfde eicel. Elke eicel die de koe (AABB) produceert, bevat dus allel A en allel B. Elke zaadcel die de stier (aabb) produceert, bevat allel a en allel b.

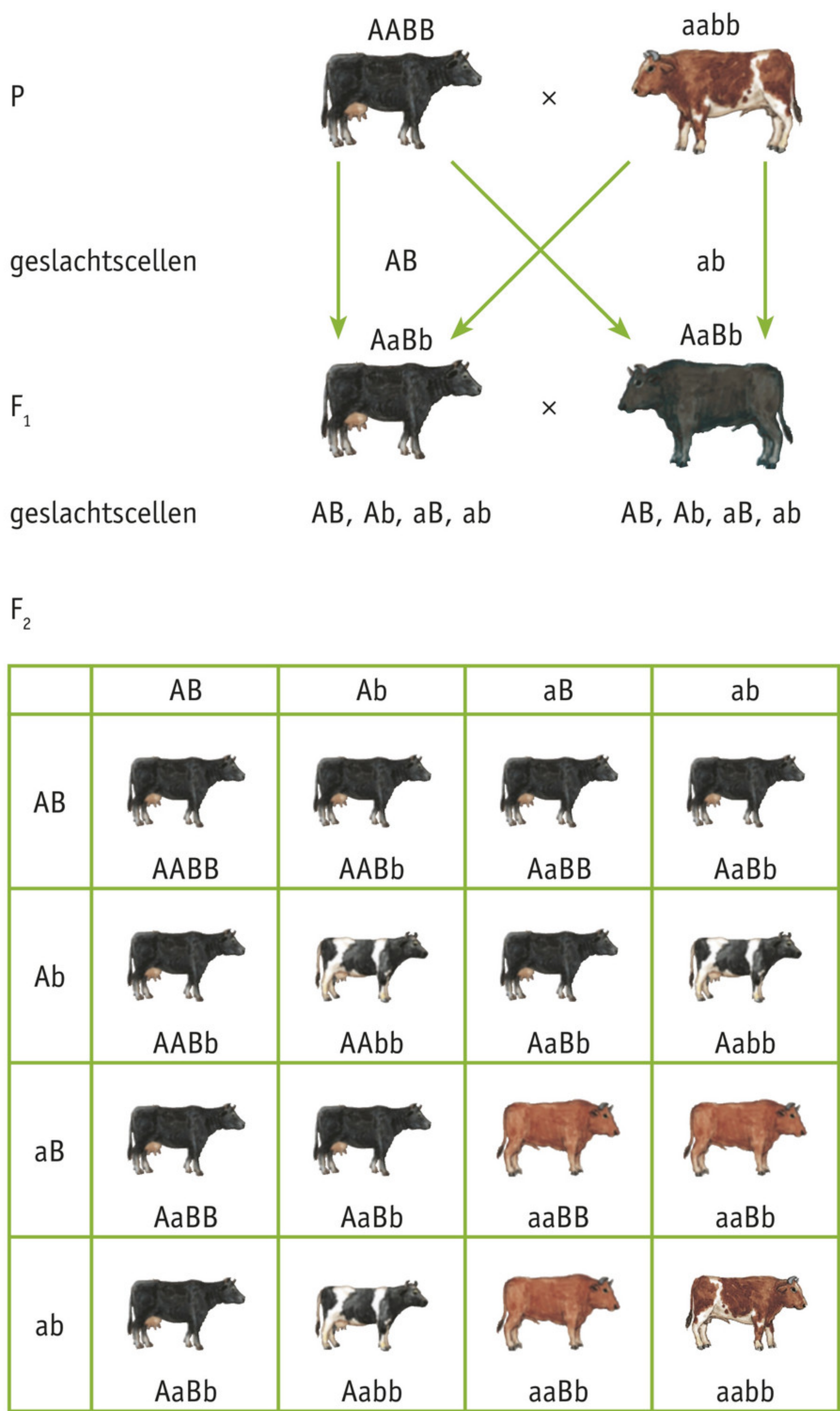
3 Welke mogelijkheden bestaan er voor de versmelting van een eicelkern en een zaadcelkern?

Bij bevruchting versmelt de kern van een eicel (met allelen A en B) met de kern van een zaadcel (met allelen a en b). Het kalf dat zich uit deze zygote ontwikkelt, heeft als genotype AaBb. Dit kalf is zwart effen.

Andere mogelijkheden voor de versmelting van een eicelkern en een zaadcelkern zijn er bij deze kruising niet. Alle dieren in de F₁ hebben het genotype AaBb. De dieren in de F₁ van deze kruising planten zich onderling voort. Dit wordt weergegeven door AaBb × AaBb. In dit geval produceert de koe vier typen eicellen en produceert de stier vier typen zaadcellen.

Net als bij de monohybride kruising gebruik je een kruisingsschema. De vier typen eicellen komen boven in het schema en de vier typen zaadcellen links in het schema (zie afbeelding 38).

► Afb. 38 Een dihybride kruising.



Elk van deze zestien mogelijkheden heeft een even grote kans om voor te komen. De kans voor elke mogelijkheid is dus 1/16. Sommige genotypen komen meer dan één keer voor. In totaal zijn er negen verschillende genotypen.

opdrachten

▼ **Afb. 39** Een zwarte skinny cavia × zwarte behaarde cavia.

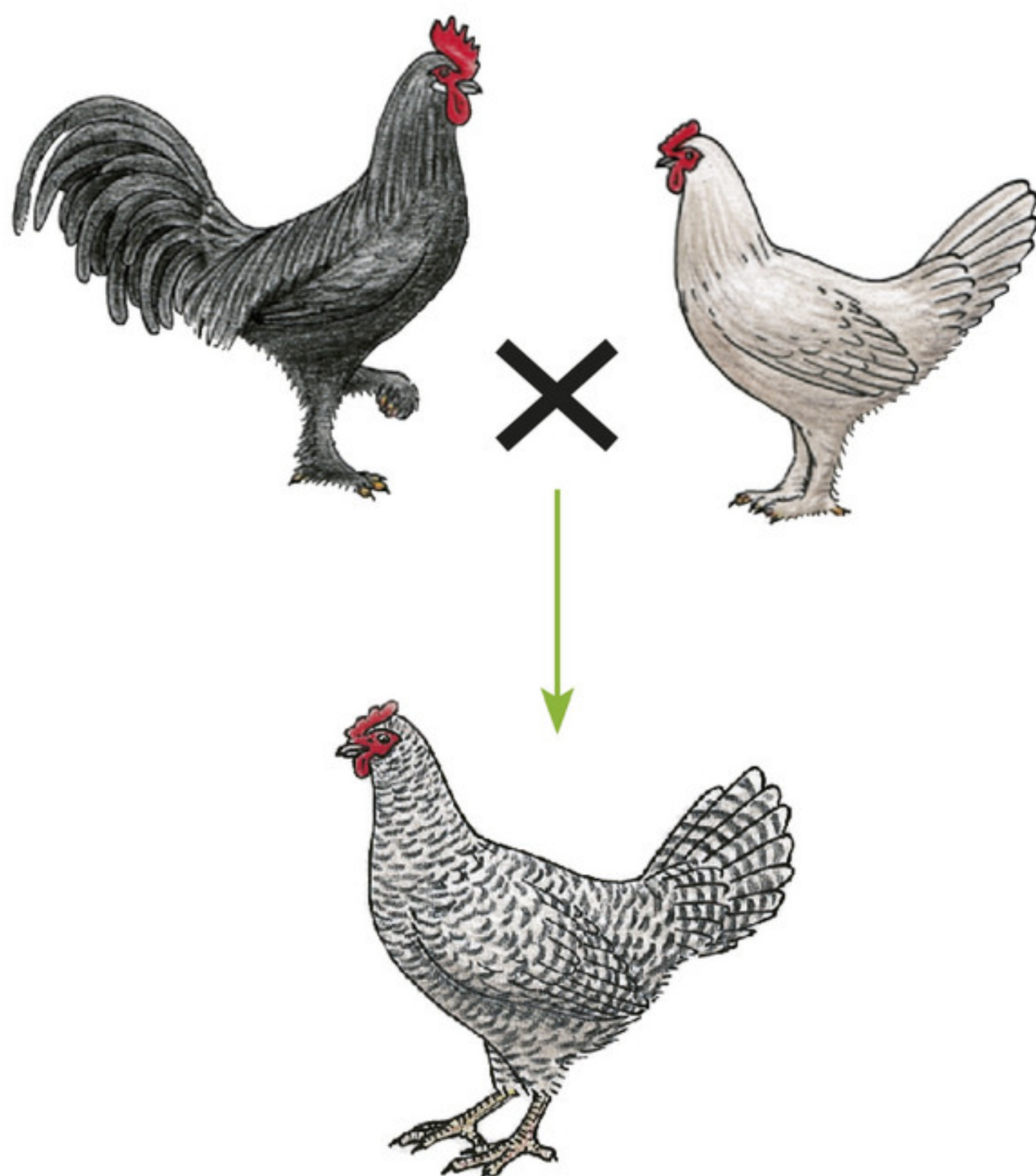


1 skinny cavia



2 zwarte behaarde cavia

▼ **Afb. 40** Een zwarte haan × witte hen = 'blauwe Andalusiër'.



- 55 a Maak een tabel met drie kolommen. Zet boven de linkerkolom 'Genotype' en noteer hierin de negen verschillende genotypen in de F_2 van afbeelding 38. Zet boven de middelste kolom 'Fenotype' en boven de rechterkolom 'Kans dat een kalf in de F_2 dit genotype heeft'. Vul de tabel verder in.
- b Hoeveel verschillende fenotypen zijn er in de F_2 ?
- c Hoe groot is de kans dat een kalf in de F_2 zwart effen is?
- d Hoe groot is de kans dat een kalf in de F_2 roodgevekt is?
- e In welke verhouding komen de fenotypen in de F_2 voor?
- 56 Bij cavia's komt de skinny cavia voor (zie afbeelding 39). De skinny cavia heeft geen beharing op grote delen van het lichaam. Bij cavia's is het allel voor zwarte vachtkleur (A) dominant over het allel voor witte vachtkleur (a). Het allel voor beharing (B) is dominant over dat voor weinig beharing (b). De genenparen liggen in verschillende chromosomenparen. Een skinny mannetjescavia is heterozygoot voor de eigenschap vachtkleur. Deze cavia dekt een zwart behaard vrouwtje dat voor beide eigenschappen heterozygoot is.
- a Wat is de verhouding van de genotypen van de F_1 ? Wat is de verhouding van de fenotypen van de F_1 ? Gebruik hierbij een kruisingsschema.
- b Na een aantal worpen zijn er 32 jongen geboren. Hoeveel jongen zullen naar verwachting het fenotype vertonen waarin beide dominante allelen tot uiting komen?
- c En hoeveel jongen zullen het fenotype vertonen waarin beide recessieve allelen tot uiting komen?
- 57 Een zwarte haan met bebeerde poten wordt gekruist met een witte hen met bebeerde poten. Het eerste kuiken dat uitkomt, is fijn gespikkeld (een 'blauwe Andalusiër'). Het kuiken heeft onbebeerde poten (zie afbeelding 40).
- a Welk allel is dominant: dat voor bebeerde poten of dat voor onbebeerde poten?
- b Hoe erft de kleur van de veren over?
- c Maak een kruisingsschema tot F_1 van deze dihybride kruising.
- d Welke fenotypen kun je verwachten in de F_1 en in welke verhouding?

KANSEN BEREKENEN

Met een kruisingsschema kun je de verhouding van fenotypen bij nakomelingen bepalen. Je kunt ook de kans op één bepaald fenotype of genotype bepalen. Zo'n erfelijkheidsvraagstuk kun je sneller oplossen door de kansen per eigenschap te bepalen en de kansen met elkaar te vermenigvuldigen.

Een voorbeeld: een tomatenplant met lange, gave bladeren wordt gekruist met een tomatenplant met korte, ingesneden bladeren. De genen voor bladlengte en bladvorm liggen in verschillende chromosomenparen. De talrijke nakomelingen in de F_1 hebben allemaal lange, ingesneden bladeren. De F_1 wordt door onderlinge bestuiving verder gekweekt. Welk deel van de F_2 zal naar verwachting lange, gave bladeren hebben?

Uit het fenotype van de F_1 blijkt dat de allelen voor lange bladeren en voor ingesneden bladeren dominant zijn. De genotypen van de ouders zijn AAbb en aaBB. Het genotype van de F_1 is AaBb. Onderlinge bestuiving van de F_1 wordt weergegeven door $AaBb \times AaBb$.

Je kijkt eerst naar de eigenschap bladlengte ($Aa \times Aa$). Je kunt hierbij een verhouding van fenotypen in de F_2 verwachten van 3 : 1. Het dominante allel voor lange bladeren komt in $\frac{3}{4}$ van de F_2 tot uiting.

Daarna kijk je naar de eigenschap bladvorm ($Bb \times Bb$). Ook hier is de te verwachten verhouding van fenotypen in de F_2 3 : 1. Het recessieve allel voor gave bladeren komt in $\frac{1}{4}$ van de F_2 tot uiting. Lange, gave bladeren tref je aan bij $\frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{3}{16}$ van de F_2 .

Het aantal genotypen dat bij een individu in de geslachtscellen kan voorkomen, kun je op vergelijkbare manier berekenen. Je bepaalt eerst per genenpaar of er één of twee typen geslachtscellen kunnen worden gevormd. Daarna vermenigvuldig je de aantallen.

Een individu met genotype Aa kan twee typen geslachtscellen maken. Een individu met genotype bb kan slechts één type geslachtscellen maken. Bij een individu met genotype AabbCc kunnen $2 \times 1 \times 2 = 4$ genotypen in de geslachtscellen voorkomen.

opdracht

- 58** Bij mensen is het allel voor bruin haar (A) dominant over het allel voor blond haar (a). Het allel voor krullend haar (B) is dominant over dat voor steil haar (b). De genenparen liggen in verschillende chromosomenparen. Een vrouw met blond steil haar verwacht een kind van een man met bruin krullend haar. De man is heterozygoot voor beide eigenschappen.
- Hoe groot is de kans dat het kind dezelfde haarkleur en haarvorm heeft als de vader? Noteer de berekening.
 - Na prenataal onderzoek blijkt de vrouw in verwachting te zijn van een tweeling. Ga ervan uit dat de tweeling eeneiig is. Hoe groot is de kans dat beide kinderen dezelfde haarkleur en haarvorm hebben als de vader?
 - Stel dat het een twee-eiige tweeling is. Hoe groot is dan de kans dat beide kinderen dezelfde haarkleur en haarvorm hebben als de vader?

GENOTYPEN VAN OUDERS BEPALEN

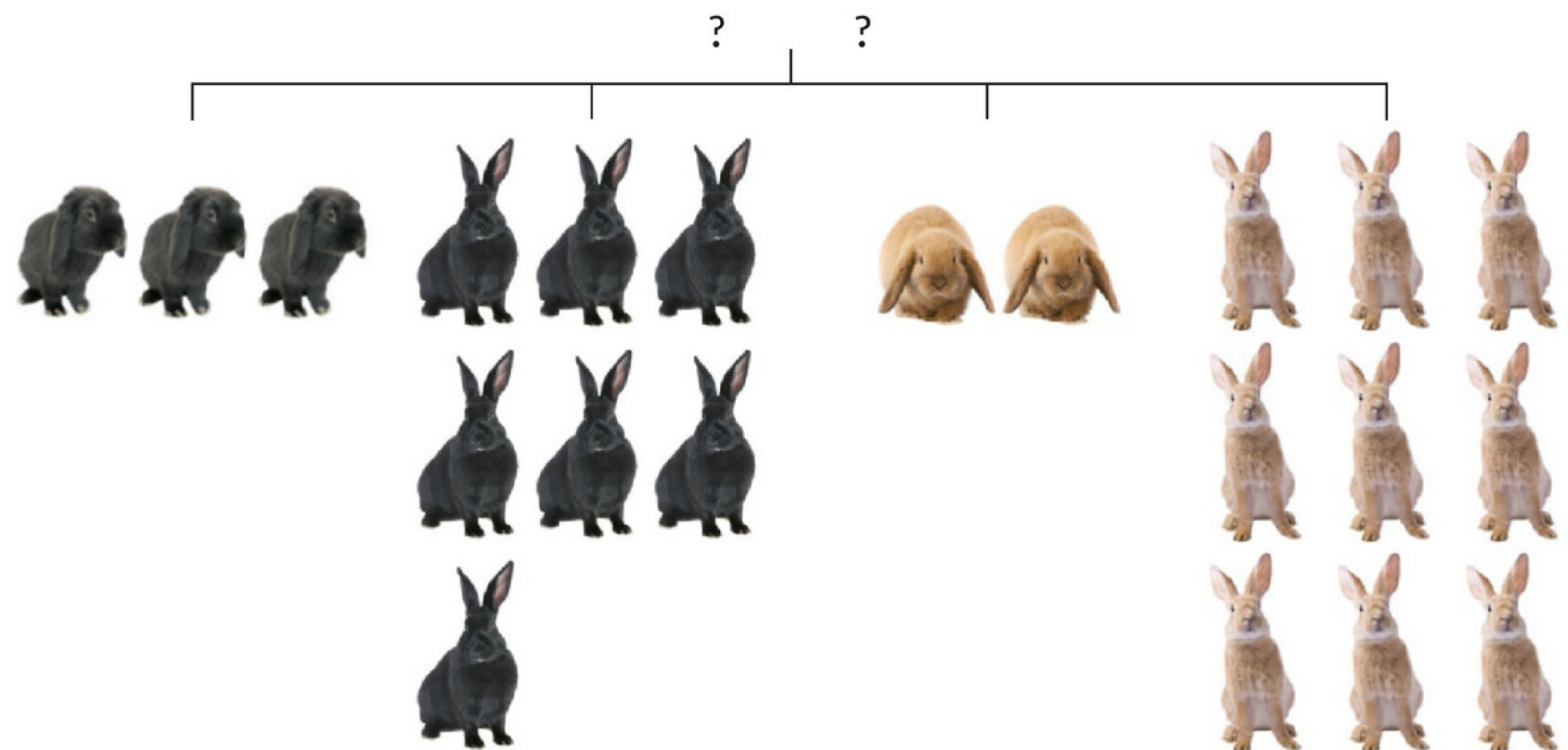
In erfelijkheidsvraagstukken kun je de genotypen van de ouders afleiden uit de verhouding van de fenotypen van de nakomelingen. Kijk daarvoor naar de verhouding per eigenschap.

Een voorbeeld: bij konijnen is het allel voor zwarte vachtkleur (A) dominant over het allel voor bruine vachtkleur (a). Het allel voor normale oren (B) is dominant over dat voor hangoren (b). De genenparen liggen in verschillende chromosomenparen. Twee konijnen worden een aantal malen gekruist. Ze krijgen de volgende nakomelingen: drie zwarte hangoren, zeven zwarte rechte oren, twee bruine hangoren en negen bruine konijnen met rechte oren (zie afbeelding 41). Wat zijn de genotypen van de ouders?

Kijk eerst naar de vachtkleur. In totaal zijn tien zwarte en elf bruine konijnen geboren. Deze verhouding is ongeveer 1 : 1. De genotypen van de ouders zijn dan Aa en aa.

Daarna kijk je naar de oorvorm. In totaal zijn zestien konijnen met rechte oren en vijf hangoorkonijnen geboren. Deze verhouding is ongeveer 3 : 1. De genotypen van de ouders zijn dan Bb en Bb. De genotypen van de ouders zijn dus AaBb en aaBb. Een van de ouders is zwart met rechte oren, de andere ouder is bruin met rechte oren.

► **Afb. 41** Wat zijn de genotypen van de ouders?



opdrachten

- 59 Bij een erwtenplant vindt zelfbestuiving plaats. Hierna ontwikkelen zich 243 zaden aan deze plant: 47 groene ronde, 17 groene hoekige, 44 gele hoekige en 135 gele ronde zaden. Welk fenotype heeft de ouderplant?
- 60 Bij leeuwenbekjes komen rode, witte en roze bloemen voor. De bloemvorm kan regelmatig of onregelmatig zijn (zie afbeelding 42). Het allel voor onregelmatige bloemvorm (B) is dominant over het allel voor regelmatige bloemvorm (b). Twee leeuwenbekjes worden met elkaar gekruist. De nakomelingen bestaan uit 12 planten met regelmatige witte bloemen, 9 planten met regelmatige rode bloemen, 22 planten met regelmatige roze bloemen, 8 planten met onregelmatige witte bloemen, 11 planten met onregelmatige rode bloemen en 19 planten met onregelmatige roze bloemen.
- Is een leeuwenbekje met rode bloemen homozygoot of heterozygoot voor de bloemkleur? En een leeuwenbekje met witte bloemen? En een leeuwenbekje met roze bloemen?
 - Welke genotypen hebben de ouderplanten?
 - Welke fenotypen hebben de ouderplanten?

▼ **Afb. 42** Leeuwenbekjes.



1 onregelmatige bloemvorm

2 regelmatige bloemvorm

▼ Afb. 43 Een lapjespoes.

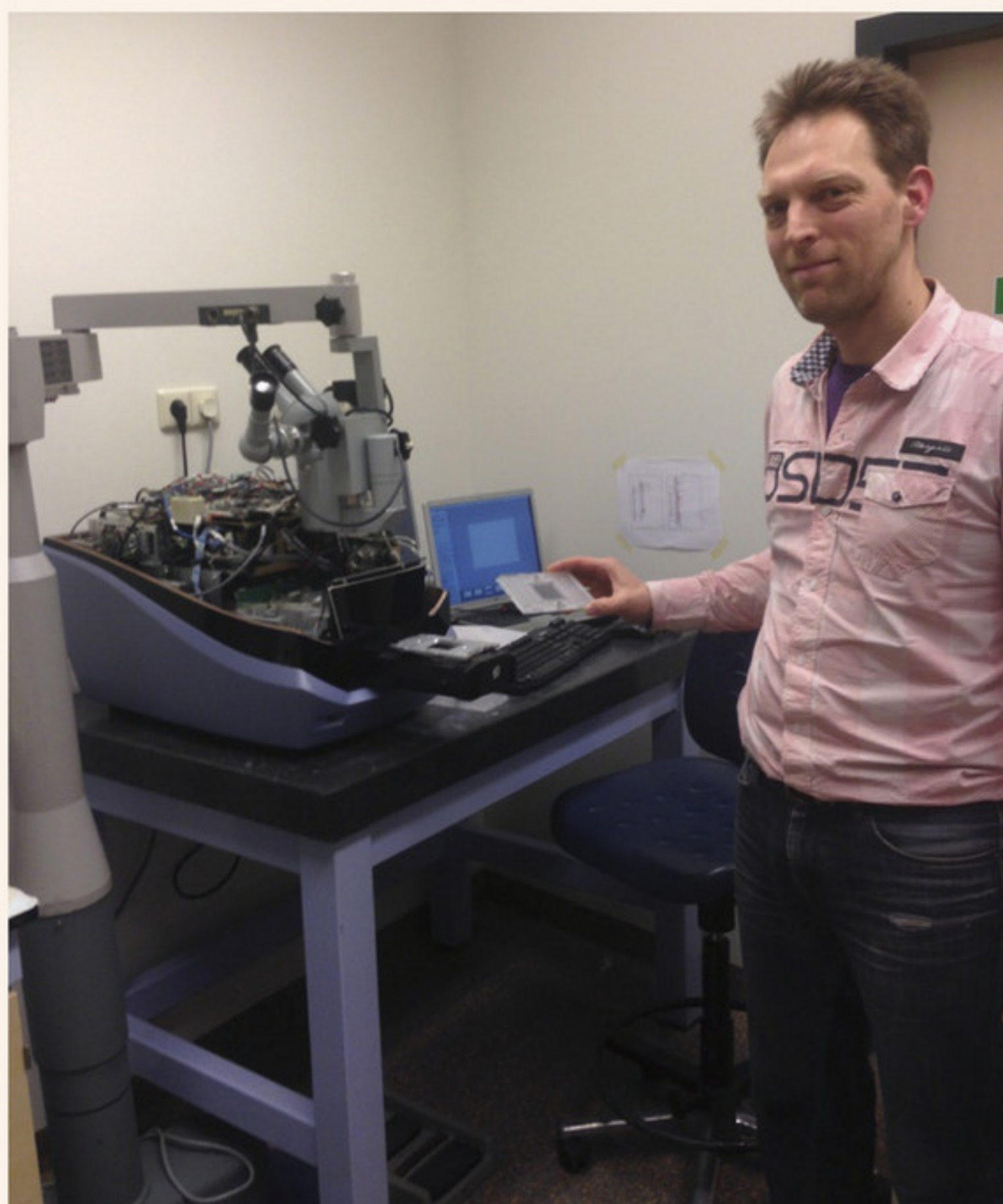


- 61 Lapjeskatten hebben oranje, zwarte en witte 'lapjes' (zie afbeelding 43). Net als bij de schildpadkat zorgt inactivatie van het X-chromosoom voor de vlekken of lapjes. Naast de X-chromosomale allelen voor oranje (X^O) en zwart (X^d) wordt de vachtkleur beïnvloed door een niet-X-chromosomaal genenpaar: in aanwezigheid van allel S heeft de vacht witte vlekken, een homozygoot recessieve kat (ss) heeft geen witte vlekken. Een kattenfokker wil zo veel mogelijk lapjespoezen krijgen en heeft daarbij de keuze uit de volgende poezen en katers:
- Mopsy: een oranje poes zonder vlekken;
 - Ploeske: een zwarte poes met witte vlekken;
 - Tommie: een zwarte kater zonder vlekken;
 - Todd: een zwarte kater met witte vlekken;
 - Vlekkie: een oranje kater met witte vlekken;
 - Japie: een zwarte kater met witte vlekken.
- Al deze poezen en katers kunnen met elkaar paren en ze zijn allemaal even vruchtbaar.
- Een testkruising met een kat zonder vlekken gaf aan dat Ploeske, Vlekkie en Japie alle drie nakomelingen kregen met zowel witte als geen vlekken. Todd kreeg alleen nakomelingen met vlekken.
- a Welke genotypen hebben de verschillende katten?
 - b Welke poes en welke kater kies je om een nest te krijgen met zo veel mogelijk lapjespoezen?
 - c De moederpoes in vraag b blijkt homozygoot voor de eigenschap kleur te zijn. Bereken de kans op een lapjespoes in dit nest.

CONTEXT

Beroep

▼ Afb. 44



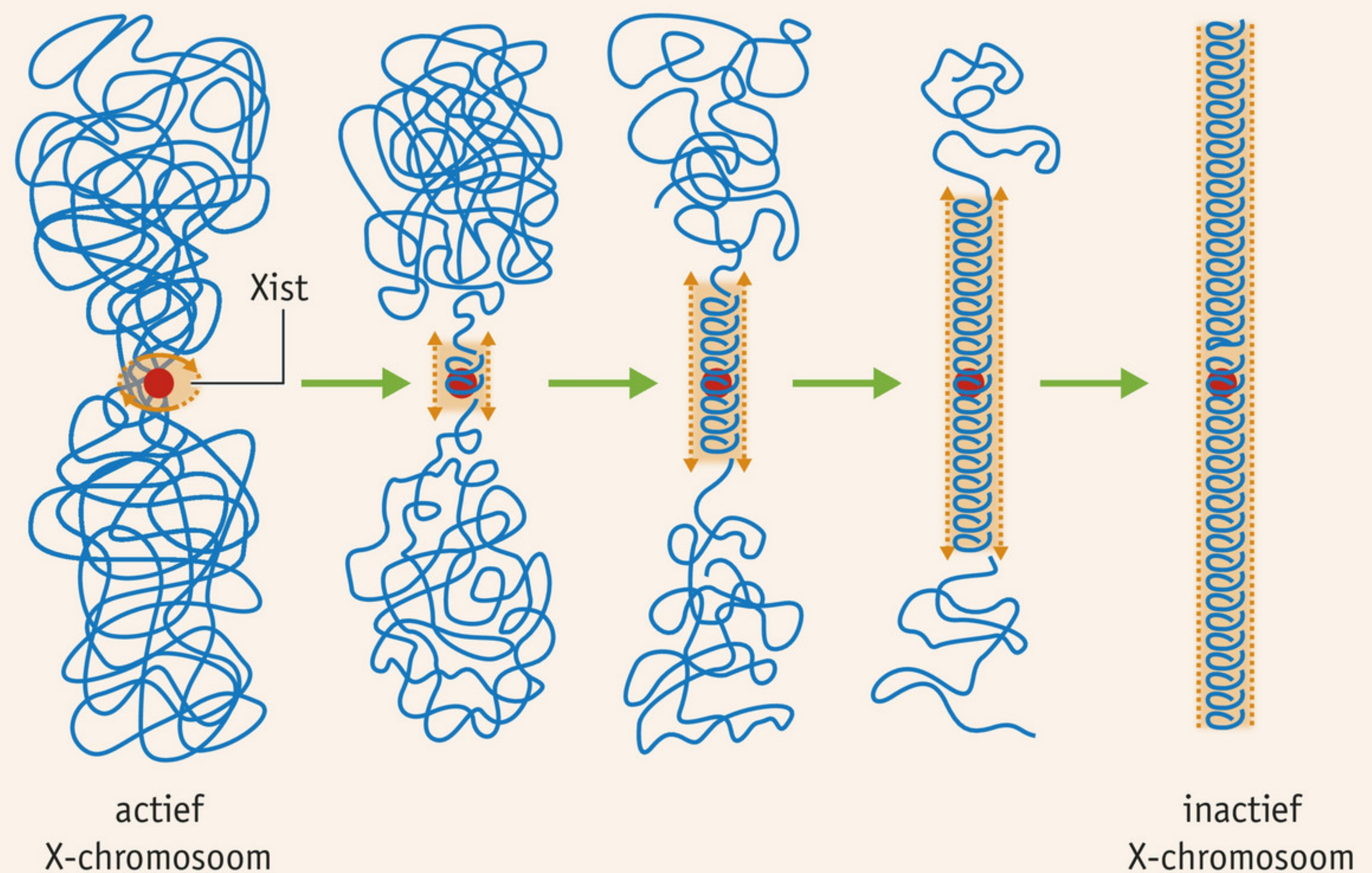
Eén X-chromosoom ingepakt!

Hendrik Marks: 'Als moleculair bioloog aan de Radboud Universiteit in Nijmegen leid ik een onderzoeksgroep die geïnteresseerd is in embryonale ontwikkeling. Bijzonder bij de specialisaties van vrouwelijke cellen tijdens de embryonale ontwikkeling is dat één X chromosoom volledig wordt uitgezet. Deze X-chromosoominactivatie treedt bij bijna alle zoogdieren op. Voor de uitschakeling van een X-chromosoom hebben andere onderzoekers al eerder ontdekt dat hiervoor het molecuul "Xist" verantwoordelijk is, dat wordt gecodeerd door een gen op het X-chromosoom. Wij hebben ontdekt dat dit molecuul zich vanuit het midden over het X-chromosoom verspreidt. Het Xist-molecuul vormt uiteindelijk een soort deken die het chromosoom bedekt.'

Als één van de twee chromosomen eenmaal is ingepakt (en daarmee geïnactiveerd is), blijft deze gedurende de rest van het leven uitgeschakeld (zie afbeelding 45).

Ik wil onderzoeken of we bij vrouwen een uitgezet X-chromosoom weer kunnen activeren. Dat zou kunnen helpen bij aandoeningen zoals het syndroom van Rett en het fragiele-X-syndroom. Het syndroom van Rett ontstaat door de verandering in een gen dat aanwezig is op het actieve X-chromosoom. Mannen hebben maar één X-chromosoom, dus als die het veranderde gen krijgen, sterven ze voor de geboorte. Bij vrouwen die drager zijn, wordt bij ongeveer de helft van de cellen het chromosoom uitgeschakeld met het goede gen, terwijl dan de ziekmakende genen op het andere X-chromosoom aan staan. Het zou een mooie oplossing zijn als we het goede X-chromosoom konden reactiveren.'

- **Afb. 45** Xist bedekt een X-chromosoom en inactieveert daardoor het chromosoom.



opdrachten

- 62** Het syndroom van Rett is een X-gebonden dominante stoornis die vrijwel alleen bij meisjes voorkomt. Dit leidt tot ernstige geestelijke en lichamelijke invaliditeit. Bij jongetjes is deze stoornis voor de geboorte al dodelijk.
- Verklaar waarom het syndroom van Rett vrijwel nooit bij jongetjes voorkomt.
 - Leg uit hoe het onderzoek van Hendrik Marks ervoor kan zorgen dat het syndroom van Rett in de toekomst misschien wel kan worden behandeld bij vrouwen.
- 63** Leg uit waarom het syndroom van Rett wel kan voorkomen bij jongetjes met het syndroom van Klinefelter. Lees zo nodig de context over het syndroom van Klinefelter in basisstof 1.
- 64** Bij het syndroom van Down is er een extra (21e) chromosoom. Dit zorgt voor de kenmerken die zo karakteristiek zijn voor mensen met het syndroom van Down. Wetenschappers hebben dit extra chromosoom in gekweekte mensencellen geïnactiveerd door een Xist-gen in te bouwen. Leg uit hoe dit gen het extra 21e chromosoom kan inactiveren.
- 65** Vind jij dat wetenschappers zo ver mogen gaan dat zij in cellen van een menselijk embryo met het syndroom van Down het extra chromosoom 21 mogen inactiveren, zodat er een volledig gezond kind ontwikkelt? Geef je mening en een bijbehorend argument.

Leerdoelen

- Je kunt kruisingsschema's maken voor onafhankelijke overerving van multiële allelen, letale factoren en gekoppelde genen en hieruit of uit stambomen de frequentie van genotypen en fenotypen van nakomelingen afleiden.
- Je kunt verklaren dat mitochondriale overerving kan leiden tot een andere overerving dan volgens de wetten van Mendel.

6 Speciale manieren van overerven

Het is goed om te weten welke bloedgroep je hebt, zeker als je een bloedtransfusie nodig hebt. Er zijn vier bloedgroepen. De verdeling van bloedgroepen verschilt per regio. Ongeveer 63% van de wereldbevolking heeft bloedgroep o. Bloedgroep AB komt het minst voor. Zelfs in Korea, waar AB wereldwijd het meest voorkomt, heeft slechts 9% van de mensen deze bloedgroep.

MULTIELE ALLELEN

Voor veel erfelijke eigenschappen bestaan twee verschillende allelen. Voor de haarlijn bijvoorbeeld is er een allel voor een rechte haarlijn en een allel voor een V-vormige haarlijn.

Een diploïd organisme heeft twee allelen per locus. Bij kruisingsvraagstukken heb je steeds gekeken naar twee mogelijke allelen. Maar op populatieniveau kunnen voor sommige erfelijke eigenschappen drie of meer verschillende allelen bestaan, ook wel **multiële allelen** genoemd.

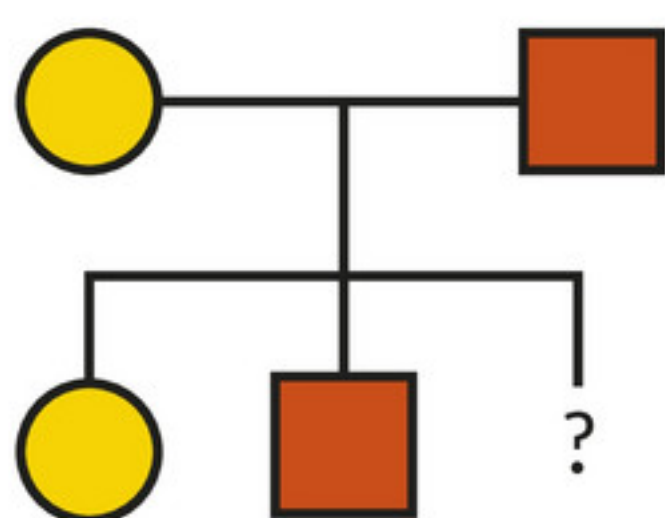
De bloedgroep bij mensen wordt bepaald door één gen, waarvoor drie allelen bestaan. Twee allelen zijn dominant (I^A en I^B) en één allel is recessief (i). Er zijn vier bloedgroepen: A, B, AB en o (nul). Bij mensen bevatten lichaamcellen twee allelen voor de bloedgroep. De volgende genotypen zijn dan mogelijk:

- $I^A I^A$ en $I^A i$: deze personen hebben bloedgroep A;
- $I^B I^B$ en $I^B i$: deze personen hebben bloedgroep B;
- $I^A I^B$: deze persoon heeft bloedgroep AB;
- ii : deze persoon heeft bloedgroep o.

opdrachten

- 66** Een man met bloedgroep o verwekt een kind bij een vrouw met bloedgroep AB.
- Wat is het genotype van de vrouw? En van de man?
 - Welke genotypen kan het kind hebben?
 - Hoe groot is de kans dat het kind dezelfde bloedgroep heeft als de vader?
 - Hoe groot is de kans dat het kind dezelfde bloedgroep heeft als de moeder?
- 67** Heeft iemand met bloedgroep AB een intermediair fenotype? Leg je antwoord uit.
- 68** De stamboom in afbeelding 46 geeft de overerving weer van bloedgroepen in een familie.
- Wat zijn de genotypen van de ouders?
 - Is het mogelijk dat het met '?' aangegeven kind bloedgroep o heeft?

▼ **Afb. 46** Bloedgroepen in een familie.



Legenda:

- bloedgroep A
- bloedgroep B

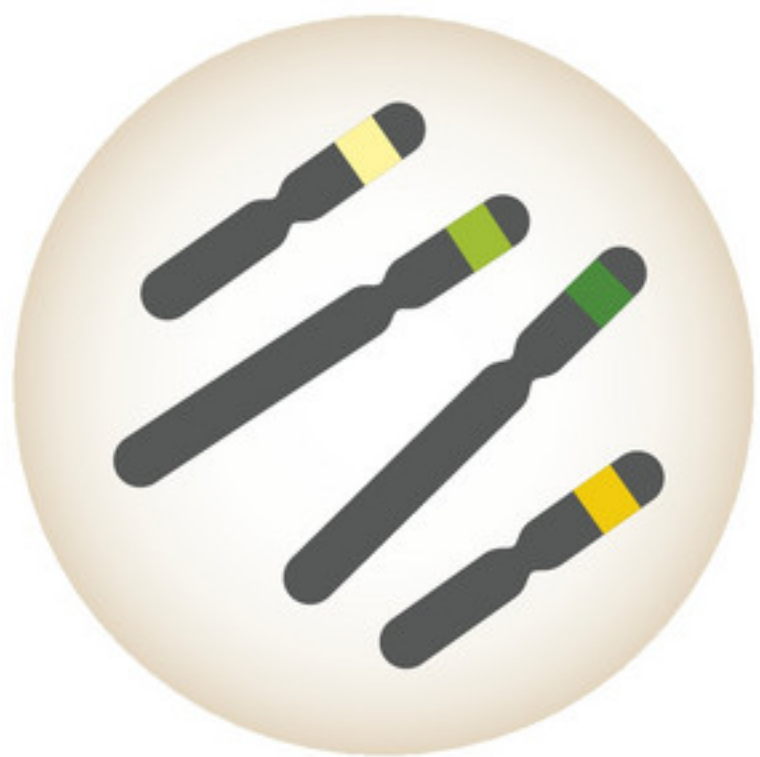
LETALE FACTOREN

Bij sommige erfelijke eigenschappen komen **letale factoren** voor. Bij de overerving is dan een allel betrokken dat in homozygote toestand geen levensvatbare cellen of levensvatbaar individu oplevert. Als twee geslachtscellen versmelten die dezelfde letale factor bevatten, sterft de zygote snel. Een deel van de verwachte nakomelingenschap wordt niet geboren, waardoor je bij de nakomelingen andere verhoudingen in de genotypen en in de fenotypen aantreft.

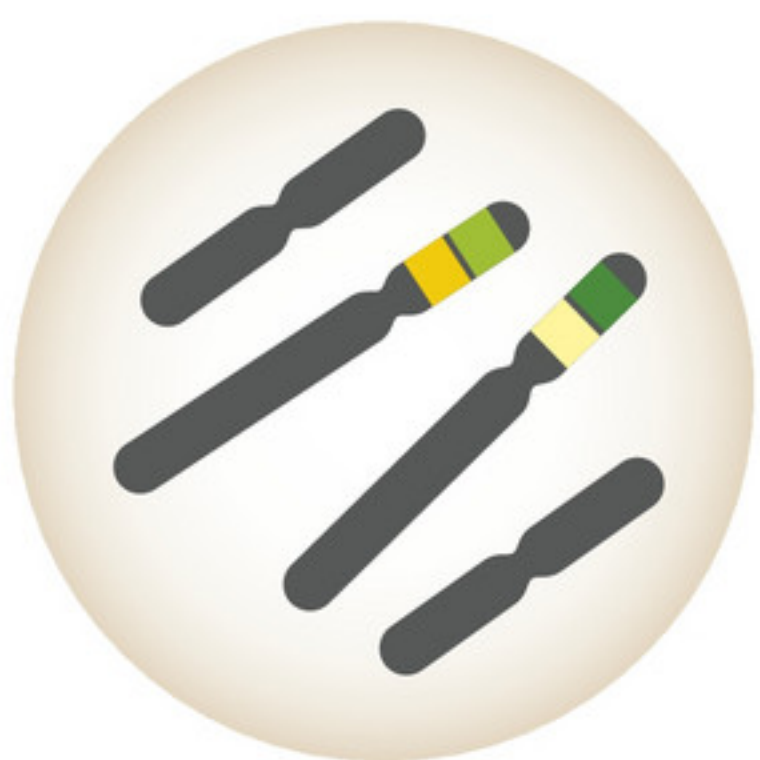
▼ Afb. 47 Peter Dinklage.



▼ Afb. 48 Ligging van genen bij een dihybride kruising.

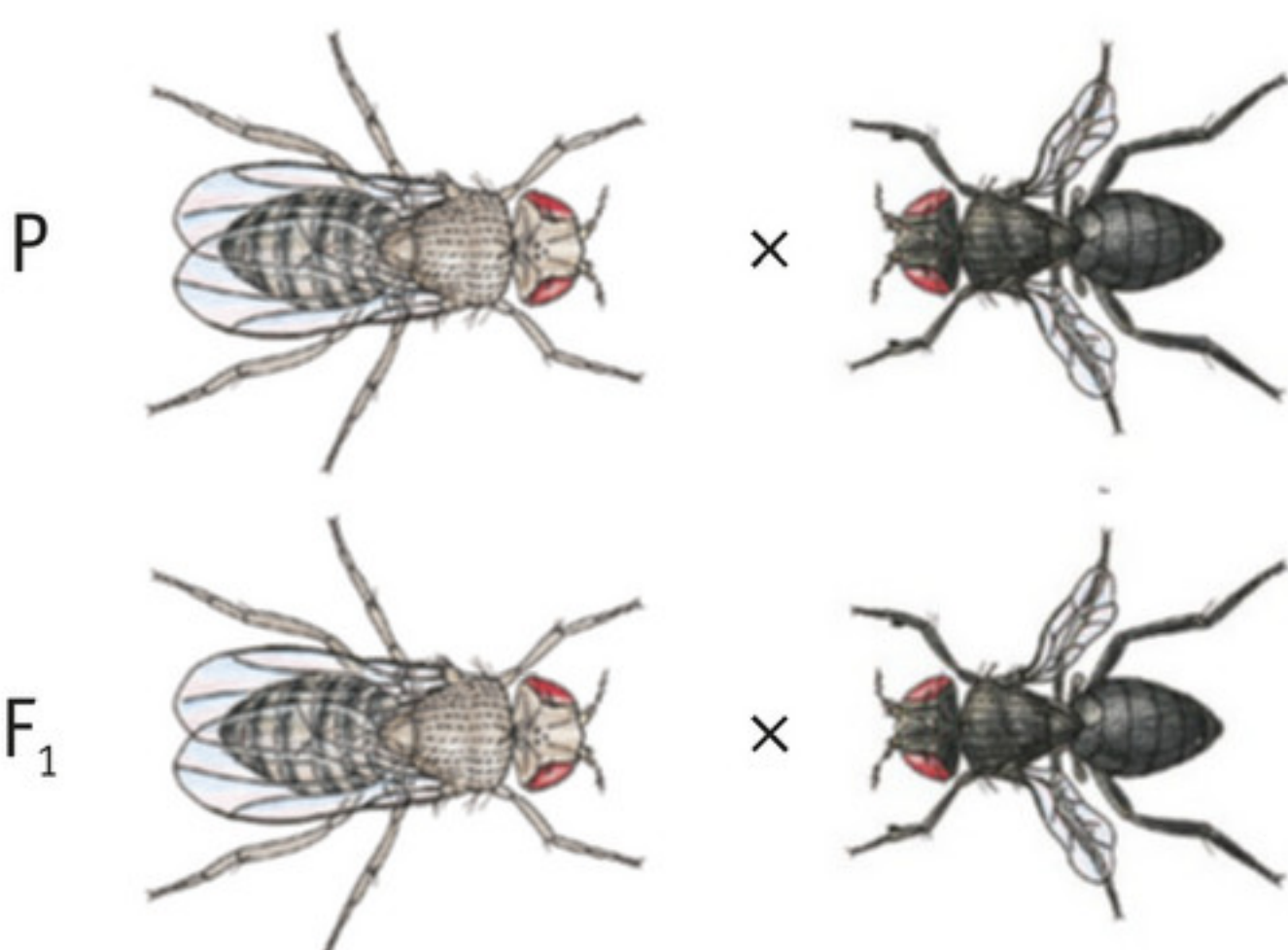


1 bij onafhankelijke overerving



2 bij gekoppelde overerving

▼ Afb. 49 Fruitvliegjes.



opdracht

- 69 De acteur Peter Dinklage (zie afbeelding 47) heeft de erfelijke aandoening achondroplasie (dwerggroei). Daardoor is hij slechts 1,35 m lang en heeft hij gedrongen ledematen en een normale rompgrootte. Achondroplasie erft autosomaal dominant over en is letaal bij embryo's die homozygoot zijn voor de eigenschap.
- Een man en een vrouw, beiden met de aandoening achondroplasie, krijgen samen een kind.
Hoe groot is na de bevruchting de kans op een kind zonder achondroplasie? Leg je antwoord uit met behulp van een kruisingsschema.
 - Hoe groot is de kans op een miskraam?
 - Achondroplasie is zeer zeldzaam (circa 1 per 20 000 tot 40 000 geboorten). Gezien de zeldzaamheid van de ziekte is in theorie de kans dat een embryo twee achondroplasie-allelen heeft zeer zeldzaam. In de praktijk is deze kans echter een stuk groter.
Leg dit uit.

GEKOPPELDE OVERERVING

Bij de dihybride kruisingsvraagstukken lagen de twee genenparen steeds in verschillende chromosomenparen. Je spreekt dan van onafhankelijke overerving. Maar de twee genenparen kunnen ook in hetzelfde chromosomenpaar liggen (zie afbeelding 48). Je spreekt dan van **gekoppelde genen**; er is dus sprake van **gekoppelde overerving**. Bij zo'n dihybride kruising is dan slechts één chromosomenpaar betrokken.

In kruisingsvraagstukken geef je de koppeling van genen aan door de chromosomen waarin de genen liggen schematisch als volgt weer te geven:

- het genotype van een homozygoot dominant individu: $\frac{GN}{GN}$;
- het genotype van een homozygoot recessief individu: $\frac{gn}{gn}$.

Gekoppelde allelen worden gezamenlijk doorgegeven aan de nakomelingen. In veel gevallen kan de koppeling worden verbroken. Er worden dan delen van chromosomen uitgewisseld tussen homologe chromosomen (crossing-over). In thema 4 DNA (leerjaar 5) leer je meer over crossing-over.

opdrachten

- 70 Bij fruitvliegjes is het allel voor grijze lichaamskleur (G) dominant over het allel voor zwarte lichaamskleur (g). Het allel voor normale vleugels (N) is dominant over dat voor vleugelstompjes (n). De genen voor lichaamskleur en vleugelvorm liggen in hetzelfde chromosomenpaar.
- Een grijs vrouwtje met normale vleugels, dat voor beide eigenschappen homozygoot is, wordt gekruist met een zwart mannetje met vleugelstompjes (zie afbeelding 49). Een vrouwtje in de F₁ wordt verder gekruist met een zwart mannetje met vleugelstompjes.
- Geef het genotype van het vrouwtje in de P-generatie schematisch weer (met de chromosomen).
 - Geef ook het genotype van het mannetje in de P-generatie schematisch weer.
 - Geef het genotype van het vrouwtje in de F₁-generatie schematisch weer.

- 71 a Het vrouwtje in de F_1 kan twee typen eicellen maken.
Welke allelen komen steeds samen in dezelfde eicel voor?
- b Het mannetje dat gekruist wordt met het vrouwtje uit de F_1 kan slechts één type zaadcel maken.
Geef het genotype van zo'n zaadcel.
- c Welke genotypen komen voor in de F_2 ? Gebruik hierbij een kruisingsschema.
- d Welke fenotypen komen voor in de F_2 en in welke verhouding?

OVERERVING DIE ANDERS VERLOOPT

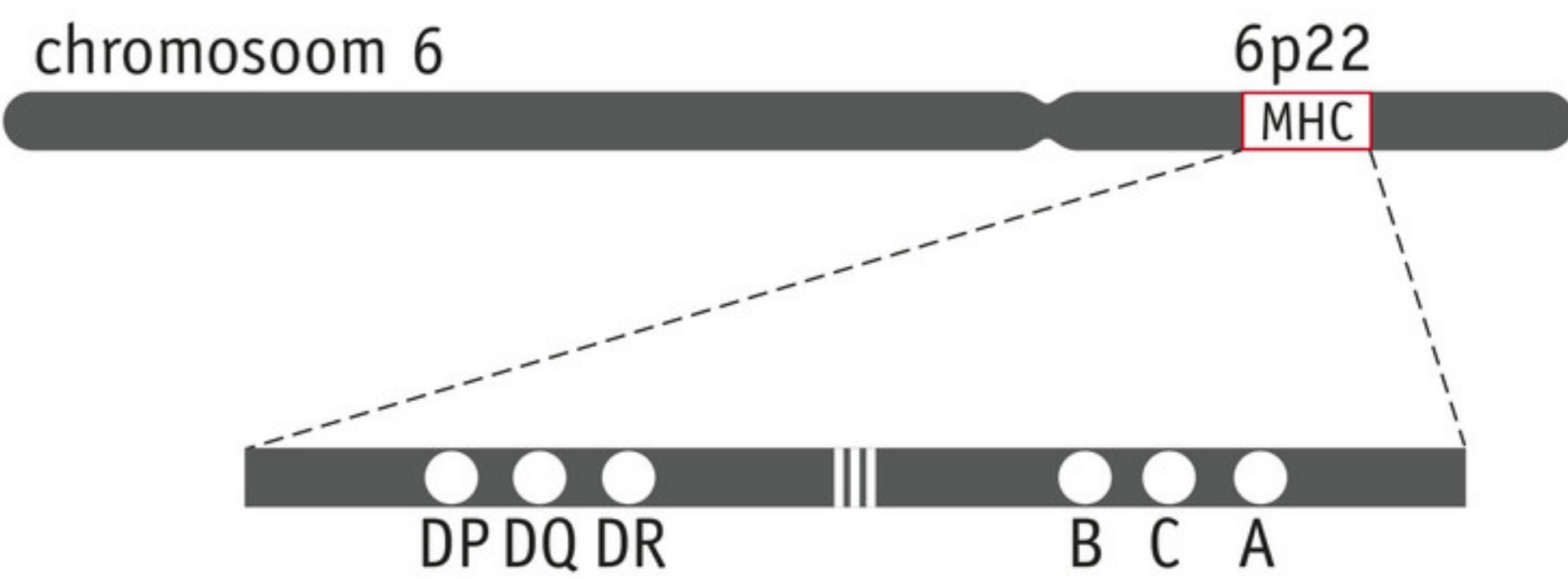
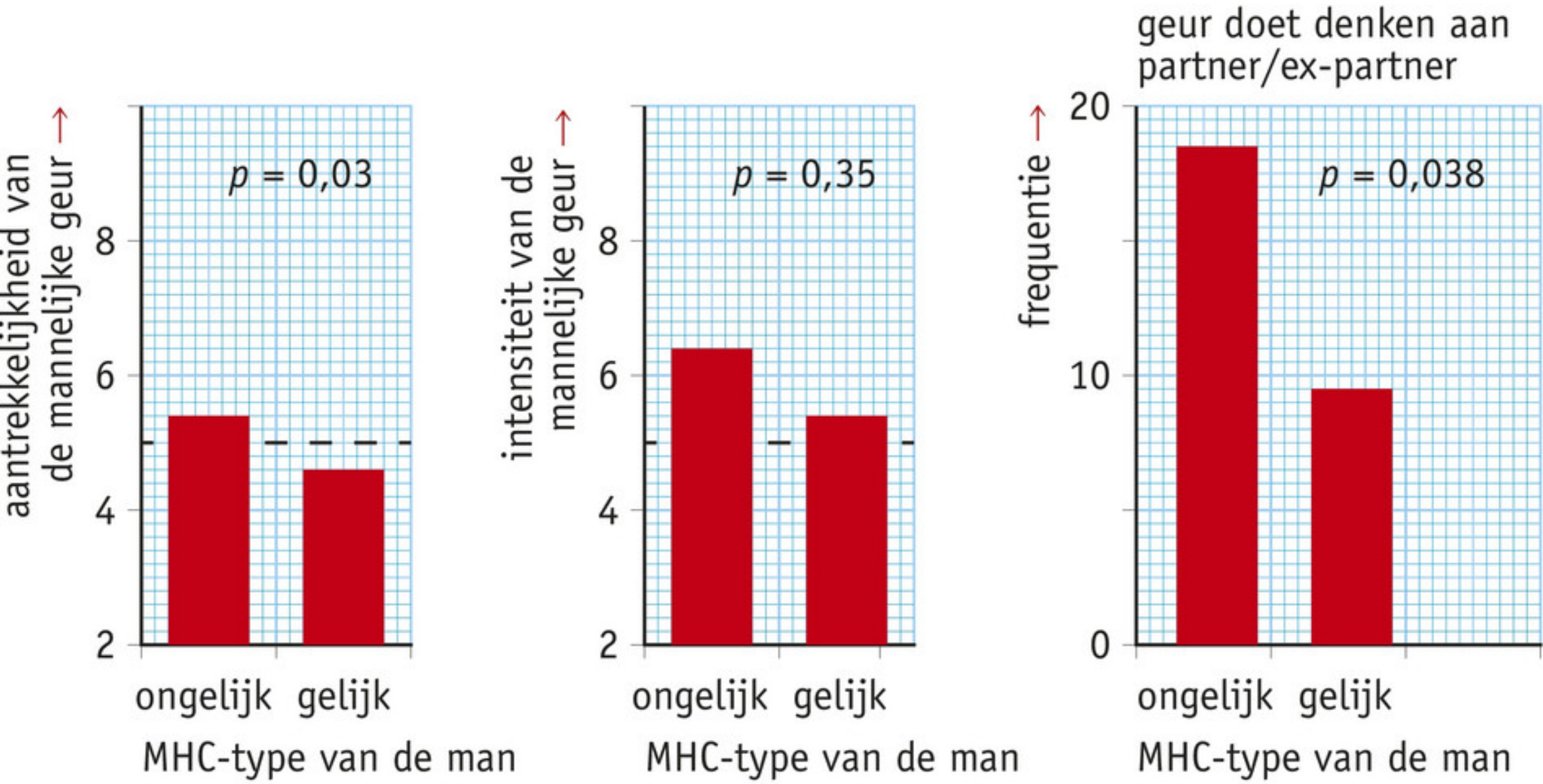
Bij een letale factor is de verhouding van de fenotypen anders dan bij een monohybride kruising zonder letale factor. Er zijn meer oorzaken waardoor de overerving anders verloopt dan je volgens de wetten van Mendel verwacht. Door milieufactoren bijvoorbeeld kan een allel bij het ene individu niet tot expressie komen en bij het andere individu met een identiek allelenpaar wel. Bij bepaalde muizen bijvoorbeeld kan door voeding de vachtkleur veranderen van oranjekeurig naar bruin.

Niet alleen de celkern bevat DNA, ook de mitochondriën bevatten een klein, ringvormig DNA met een klein aantal genen. Bij mitochondriale genen verloopt de overerving anders dan volgens de wetten van Mendel. Het **mitochondriaal DNA (mtDNA)** erft over via eicellen en dus niet via zaadcellen of stuifmeel. De zaadcel bevat wel mitochondriën, maar bij de bevruchting versmelt de kop van de zaadcel met een eicel. De mitochondriën van de zaadcel liggen vlak voor de zweepstaart van de zaadcel en dringen meestal niet de eicel binnen. Een eicel bevat veel mitochondriën.

opdrachten

- 72 Een DNA-test kan de verwantschap tussen familieleden aantonen. Hierbij wordt soms mitochondriaal DNA gebruikt.
Voor het identificeren van een slachtoffer van een ramp zijn de volgende personen beschikbaar:
- vader
 - moeder
 - zus
 - oma van vaders kant
 - oma van moeders kant
 - een nichtje (dochter van een zus van de vader)
 - een neefje (zoon van een zus van de moeder)
- Welk familielid is of welke familieleden zijn geschikt voor de identificatie van het slachtoffer aan de hand van mitochondriaal DNA? Leg je antwoord uit.
- 73 De ziekte van Leber is een mitochondriale aandoening. Mensen met de aandoening krijgen rond het 20e jaar plotseling verlies van het gezichtsvermogen. Niet iedere persoon die het mitochondriale gen heeft, krijgt ook daadwerkelijk de ziekte. Bij mannen met het gen is de kans op deze oogziekte 32%, bij vrouwen die het gen hebben 10%.
Eduard en Maria krijgen een zoon en een dochter, Lars en Fiene. Maria heeft het gen dat de ziekte van Leber kan veroorzaken. Eduard heeft dit gen niet. Hoe groot is de kans dat Lars de ziekte van Leber krijgt? En Fiene? Leg je antwoord uit.

▼ Afb. 50

ONDERZOEK	MHC-GENEN
Inleiding	Het MHC (major histocompatibility complex) is van belang bij afweerreacties tegen ziekten. Voor dit complex heeft elk chromosoom van het zesde chromosomenpaar zes loci. In de afbeelding zijn de zes loci aangegeven met DP, DQ, DR, B, C en A. De MHC-regio bevat bij de mens waarschijnlijk het grootste aantal verschillende allelen per locus (tientallen per locus). De genen van het MHC-systeem zijn in staat lichaamsgeuren te beïnvloeden. Via lichaamsgeuren zou dan onbewust selectie van partners met andere MHC-genen dan de eigen MHC-genen kunnen plaatsvinden. 
Onderzoeksvraag	Is de lichaamsgeur van mannen aantrekkelijker wanneer de MHC-genen meer verschillen van de eigen MHC-genen van de vrouw?
Hypothese	1 De lichaamsgeur van een man is aantrekkelijker wanneer zijn MHC-genen meer verschillen van de eigen MHC-genen. 2 De geur van mannen waarvan de MHC-genen meer verschillen, doet meer denken aan de geur van de eigen partner dan de geur van mannen waarvan de MHC-genen weinig verschillen van de eigen genen.
Experiment	Aan 49 vrouwelijke studenten is gevraagd de T-shirts van 44 mannelijke studenten te beoordelen. De mannen mogen geen lichaamsgeurverstorende middelen als deodorant gebruiken. Ze krijgen een T-shirt, parfumvrije zeep, parfumvrij wasmiddel en parfumvrije aftershave. Verder krijgen ze de volgende instructies: slaap alleen in een bed, geen seks, geen alcohol en geen sigaretten. Aan de vrouwen worden zes T-shirts voorgelegd. Drie T-shirts zijn afkomstig van mannen waarvan de MHC-genen veel verschillen van de eigen MHC-genen en drie T-shirts van mannen waarvan de MHC-genen weinig verschillen van de eigen genen. De vrouwen is gevraagd hoe aantrekkelijk en intens de geur is. Ook wordt hen gevraagd of de geur hen deed denken aan de (ex-)partner. Telkens op een schaal van 1 tot 10.
Resultaat	
Conclusie	

Bron: C. Wedekind e.a., ‘MHC-dependent preferences in humans’, in: *Proceedings of the Royal Society of London* 260.

opdracht

74

a

Welke twee conclusies zijn uit het onderzoek te trekken? Geef van elke hypothese aan of deze kan worden aangenomen (hypothese klopt) of moet worden verworpen (hypothese klopt niet).

b

Welke conclusie is een aanwijzing dat de partners van vrouwen daadwerkelijk meer dan gemiddeld andere MHC-genen hebben dan zij zelf bezitten?

c

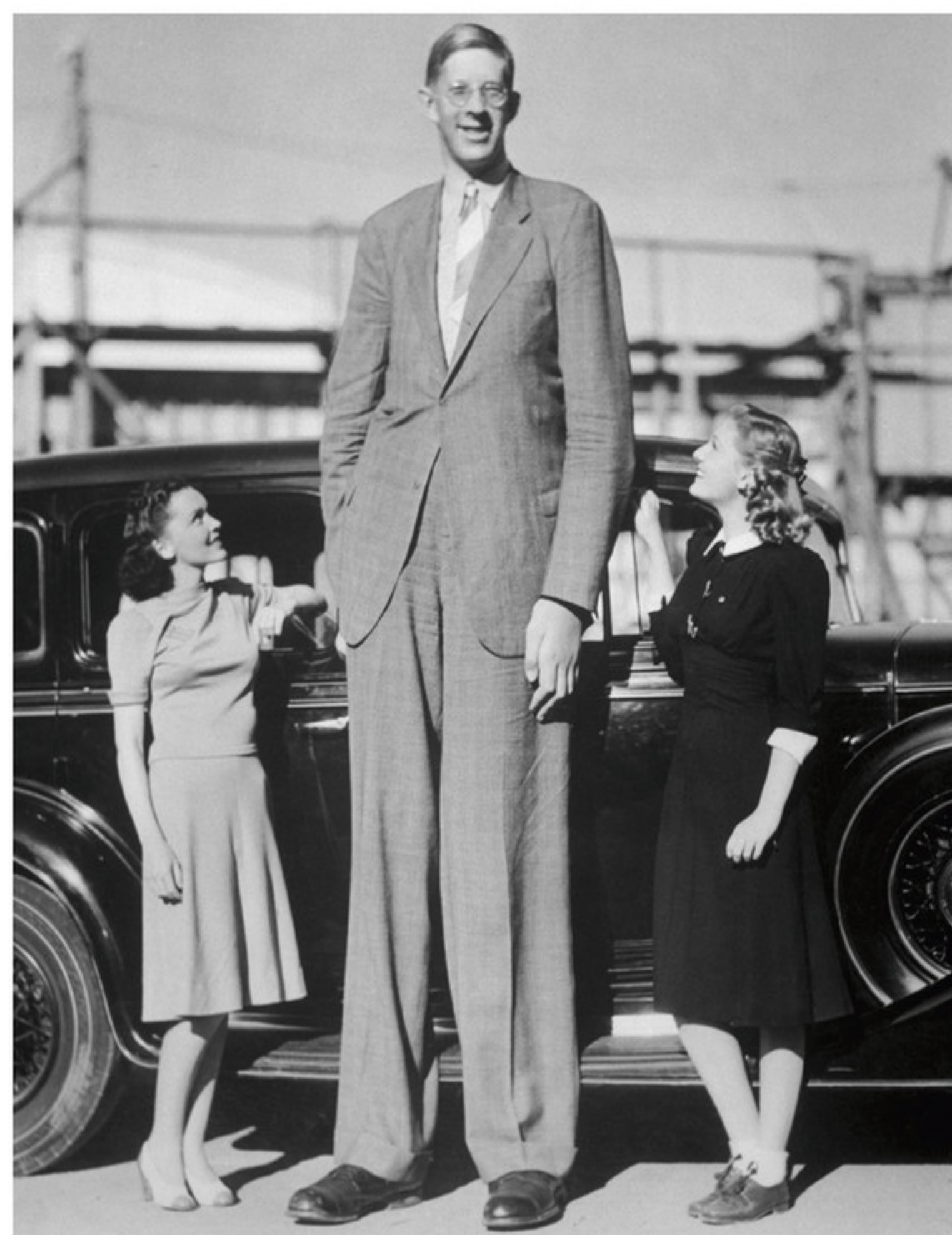
Uit het onderzoek blijkt dat vrouwen de voorkeur hebben voor partners met andere MHC-allelen dan zij zelf hebben.

Zal deze voorkeur van een vrouw de overlevingskansen van de mens als soort gunstig kunnen beïnvloeden?

Leerdoelen

- Je kunt het doel van tweelingonderzoek beschrijven.
- Je kunt verklaren dat epigenetica kan leiden tot een ander overervingspatroon dan volgens de wetten van Mendel.

▼ **Afb. 51** Robert Wadlow (1918–1940) werd 2,72 m lang, waarschijnlijk veroorzaakt door een vergroting van zijn hypofyse.



7 Opvoeding of aanleg

Is goed kunnen leren aangeboren of aangeleerd? Neurobiologisch onderzoek en epigenetica geven stapje voor stapje antwoord op deze vraag. Er is steeds meer bewijs dat het gaat om een combinatie van nature en nurture.

NATURE VERSUS NURTURE

Het fenotype wordt bepaald door het genotype en door milieufactoren. Hoe groot de rol van het genotype en milieufactoren op het fenotype is, kun je bij planten en dieren vaak bepalen door middel van onderzoek.

Sommige eigenschappen worden bijna uitsluitend bepaald door het genotype of het milieu. Zo bepaalt je genotype je bloedgroep en oogkleur; hierop heeft het milieu geen invloed. Andere eigenschappen worden (vrijwel) uitsluitend door milieufactoren bepaald, zoals een litteken of de lengte van je nagels.

Het genotype stelt bij veel eigenschappen de uiterste grenzen vast en het milieu bepaalt hoe dicht de grenzen worden benaderd. Bij een mens kan in het genotype vastliggen dat de persoon maximaal 1,80 m lang kan worden. Als alle milieufactoren optimaal zijn, zal deze lengte worden bereikt. Krijg je tijdens de groei te maken met bijvoorbeeld gebrek aan voedsel, weinig slaap, zware arbeid of langdurige ziekte, dan zal deze lengte niet worden bereikt. Omgekeerd: door milieuomstandigheden of een erfelijke afwijking kan een mens soms extreem lang worden (zie afbeelding 51).

Het genotype leidt dus niet altijd tot hetzelfde fenotype, maar leidt tot een reeks mogelijkheden van het fenotype als gevolg van de invloed van het milieu.

De rol van opvoeding op het fenotype houdt psychologen, onderwijskundigen en opvoedkundigen behoorlijk bezig. Hoe groot is bijvoorbeeld de rol van aanleg (nature) en opvoeding (nurture) op je schoolprestaties? Bij mensen is het genotype (aanleg) en de rol van het milieu (opvoeding) op het fenotype (gedrag) lastig te bepalen. Je kunt niet zomaar allerlei experimenten met mensen doen. Tweelingonderzoek kan wel een belangrijke bijdrage leveren in de **nature-nurture** discussie.

TWEELINGONDERZOEK

Tweelingonderzoek naar de bijdrage van milieufactoren en het genotype op het fenotype is erop gebaseerd dat een-eiige tweelingen hetzelfde genotype en twee-eiige tweelingen verschillende genotypen hebben. Bij zowel een-eiige als twee-eiige tweelingen zijn de leeftijd en de omgeving waarin ze opgroeien gelijk. Daarom zijn twee-eiige tweelingen ideaal als vergelijkingsmateriaal: 'gelijk genotype en gelijk milieu' versus 'verschillend genotype en gelijk milieu'.

Wanneer een-eiige tweelingen, bijvoorbeeld door adoptie, van jongs af aan in verschillende gezinnen opgroeien, kun je te weten komen wat de invloed is van milieufactoren op het fenotype (gelijk genotype en ongelijk milieu).

▼ Afb. 52 Pin en Pan.



opdrachten

- 75 Pin en Pan vormen een Siamese tweeling (zie afbeelding 52). Een Siamese tweeling ontstaat uit één bevruchte eicel en groeit uit tot een klompje cellen of embryo. Wanneer dit klompje zich onvolledig splitst, blijven bepaalde delen met elkaar verbonden. Welke delen dat zijn, kan erg verschillen. Hebben alle cellen van een Siamese tweeling hetzelfde genotype of hebben ze verschillende genotypen? Leg je antwoord uit.
- 76 a Bij tweelingonderzoek krijgen wetenschappers gegevens van twee-eiige tweelingen waarvan de leden samen in een gezin opgroeien. De leden van zulke tweelingen vertonen onderling verschillen in fenotype. Is dit een aanwijzing dat deze verschillen grotendeels door het genotype worden bepaald, of grotendeels door milieufactoren? Leg je antwoord uit.
- b Bij tweelingonderzoek krijgen wetenschappers soms gegevens van een-eiige tweelingen die uit elkaar gaan en onder verschillende omstandigheden opgroeien. Deze gegevens vergelijken ze met gegevens van een-eiige tweelingen die bij elkaar blijven. Wordt hiermee de invloed van het genotype of de invloed van milieufactoren onderzocht?
- c Veronderstel dat het genotype van invloed is op roken. Wie zullen vaker allebei roken? Een-eiige of twee-eiige tweelingen? Leg je antwoord uit.
- 77 In 1920 werd een experiment uitgevoerd waarbij de elf maanden oude Albert een witte rat kreeg om mee te spelen. Albert toonde geen angst voor de rat. Later in het experiment werd de rat met hard geluid in contact gebracht met Albert waardoor Albert vanwege het geluid moest huilen. Na blootstelling aan de rat zonder het geluid, moest Albert elke keer huilen als hij de rat zag.
- a Welke voor de hand liggende conclusie zou je kunnen trekken uit dit experiment? Betrek hierin de begrippen 'nature' of 'nurture'.
- b Toch kun je uit dit experiment geen goede conclusie trekken. Geef één goede reden.
- c Vind je dat dit soort experimenten op kleine kinderen moet kunnen? Leg je antwoord uit.

EPIGENETICA

Tijdens de embryonale ontwikkeling worden bepaalde allelen onder invloed van milieumomstandigheden selectief uitgeschakeld. Daardoor ontstaan verschillende typen cellen, zoals huidcellen, spiercellen en levercellen. **Epigenetica** bestudeert het mechanisme dat allelen aan- en uitzet en de invloed van milieufactoren hierop zonder dat de DNA-sequentie van het gen wordt gewijzigd. Deze wijzigingen in de genexpressie zijn omkeerbaar, maar soms zijn de wijzigingen stabiel en erfelijk.

Uit onderzoek bij muizen blijkt dat kenmerken van een westers voedingspatroon (onder andere overconsumptie van suiker en vet) epigenetische mechanismen in werking zetten. Het westerse voedingspatroon blijkt tumoronderdrukkende genen te remmen, met een verhoogd risico op kanker tot gevolg.

Bij een-eiige tweelingen leiden epigenetische mechanismen tot steeds duidelijker verschillen in uiterlijk en gedrag op latere leeftijd. Het genotype van een-eiige tweelingen is gelijk, maar of bepaalde genen wel of niet tot uiting komen in het fenotype kan onderling verschillen bij de individuen van een een-eiige tweeling.

Ook voedseltekort kan epigenetische effecten hebben. Kinderen die tijdens de Hongerwinter van 1944 werden verwekt, hebben grotere kans op overgewicht, hartziekten en diabetes. Oorzaak hiervan is de mate van expressie van het IGF2-gen tijdens de embryonale ontwikkeling. Dit gen is verantwoordelijk voor de productie van het hormoon IGF2. Dit hormoon is belangrijk voor de groei van de foetus in de baarmoeder.

Tijdens de embryonale ontwikkeling is het allel dat van de vader is geërfd, actief, terwijl dat van de moeder niet tot expressie komt. Daardoor wordt er een normale hoeveelheid van het hormoon IGF2 gemaakt en ontwikkelt de foetus zich normaal. Wanneer een embryo in een vroeg stadium wordt blootgesteld aan een ernstig voedseltekort, zal het IGF2-gen dat afkomstig is van de moeder actiever worden en blijven. Daardoor wordt er meer IGF2-hormoon afgegeven.

opdrachten

- 78 a Waarvoor is het belangrijk dat één van de IGF2-allelen in de foetus tot expressie komt?
- b Waardoor zouden Hongerwinterkinderen een grotere kans hebben op overgewicht?
- c Onder normale omstandigheden komt het IGF2-allel dat afkomstig is van de moeder niet tot expressie in de foetus.
Leg uit om welke reden dit beter is voor de moeder.
- d Een embryo dat aan een ernstig voedseltekort wordt blootgesteld, krijgt een actiever IGF2-gen dat afkomstig is van de moeder.
Wat zou de reden hiervan kunnen zijn?

▼ Afb. 53

ONDERZOEK		DE INVLOED VAN ALCOHOL OP DE VACHTKLEUR VAN MUIZEN																										
Inleiding	Muizen met een identiek genotype voor de vachtkleur agouti kunnen toch verschillen in vachtkleur vertonen door verschillen in genexpressie van het agouti-gen. Wanneer het agouti-gen in alle huidcellen actief is, is de vachtkleur geel. Wanneer het agouti-gen is uitgeschakeld, is de vachtkleur bruin. Soms is het agouti-gen plaatselijk uitgeschakeld, wat een geelbruin gevlekte vacht tot gevolg heeft.																											
Onderzoeksvraag	Beïnvloedt alcohol drinken voor de bevruchting en tijdens de zwangerschap de genexpressie van het agouti-gen bij de jongen die worden geboren?																											
Hypothese	Alcohol drinken voor de bevruchting en tijdens de zwangerschap beïnvloedt de genexpressie van het agouti-gen bij de jongen die worden geboren.																											
Experiment	Een groot aantal zwarte muizen (♀) wordt gekruist met een even groot aantal agouti-muizen (♂). De muizen van proefgroep 1 drinken alleen tijdens de zwangerschap regelmatig alcohol en de muizen van proefgroep 2 drinken alleen een periode voor de bevruchting alcohol. De muizen van de controlegroep drinken geen alcohol. Uit deze kruisingen heeft ongeveer de helft van de nakomelingen een agouti vachtkleur. Alleen de vachtkleur van de nakomelingen met een agouti vachtkleur in de proefgroepen en de controlegroep wordt met elkaar vergeleken.																											
Resultaat	<table><tr><th>Vachtkleur</th><th>Controlegroep geen alcohol</th><th>Proefgroep 1: alcohol tijdens zwangerschap</th><th>Proefgroep 2: alcohol voor de bevruchting</th></tr><tr><td>Geel</td><td>21%</td><td>16,5%</td><td>6%</td></tr><tr><td>Gevlekt</td><td>66%</td><td>57%</td><td>59%</td></tr><tr><td>Bruin</td><td>13%</td><td>27,5%</td><td>25%</td></tr><tr><td>Aantal muizen</td><td>91</td><td>109</td><td>69</td></tr><tr><td>p-waarde</td><td></td><td>0,046</td><td>0,01</td></tr></table>				Vachtkleur	Controlegroep geen alcohol	Proefgroep 1: alcohol tijdens zwangerschap	Proefgroep 2: alcohol voor de bevruchting	Geel	21%	16,5%	6%	Gevlekt	66%	57%	59%	Bruin	13%	27,5%	25%	Aantal muizen	91	109	69	p-waarde		0,046	0,01
	Vachtkleur	Controlegroep geen alcohol	Proefgroep 1: alcohol tijdens zwangerschap	Proefgroep 2: alcohol voor de bevruchting																								
	Geel	21%	16,5%	6%																								
	Gevlekt	66%	57%	59%																								
	Bruin	13%	27,5%	25%																								
	Aantal muizen	91	109	69																								
p-waarde		0,046	0,01																									
Conclusie																												

Bron: Kaminen-Ahola e.a., PLoS Genetics, 2010.

- 79 In afbeelding 53 zie je de invloed van alcohol op de vachtkleur bij muizen.
- Welke conclusie kun je trekken? Gebruik hierbij de resultaten uit proefgroepen 1 en 2.
 - Tussen de controlegroep en de proefgroepen 1 en 2 bestaan verschillen. Bij het verschil tussen welke groepen is aangetoond dat het epigenetisch verschijnsel erfelijk is? Leg je antwoord uit.
 - Vrouwen wordt afgeraden tijdens de zwangerschap alcohol te drinken. Dit advies kan mogelijk worden uitgebreid. Welk advies zou op grond van dit onderzoek kunnen worden onderzocht bij mensen? Leg je antwoord uit.

CONTEXT

Leefwereld

- ▼ **Afb. 54** Marihuana wordt gewonnen uit hennep (*Cannabis sativa*).



Marihuana maakt niet dom

Het roken van marihuana is niet gezond, maar recent tweelingonderzoek toont aan dat het waarschijnlijk niet slecht is voor het IQ van tieners. Lang dachten wetenschappers dat marihuana schadelijk was voor het IQ. Onderzoeken waarbij zware gebruikers werden vergeleken met niet-gebruikers toonden dit aan. Nadeel van deze onderzoeken was dat de invloed van de omgeving niet kon worden uitgesloten.

In het meest recente onderzoek volgden wetenschappers tien jaar lang 789 Amerikaanse tweelingen. In deze periode namen ze vijf keer een IQ-test en een bijbehorende vragenlijst af over onder andere het gebruik van marihuana. In deze tien jaar verloren de marihuanarokers gemiddeld vier punten van hun IQ. Maar bij hun tweelingbroer of -zus, die geen marihuana rookte, gebeurde hetzelfde.

opdracht

- 80 a Voor welk orgaan zou het roken van marihuana slecht zijn?
- Dit onderzoek is uitgevoerd met tweelingen. Gaat het om een-eiige of twee-eiige tweelingen? Leg je antwoord uit.
 - Zowel de marihuanarokers als hun niet-rokende broers of zussen verloren gedurende tien jaar vier punten van hun IQ. Geef hiervoor een verklaring.
 - Voor het onderzoek werd een vragenlijst gebruikt. Wat is een nadeel van het gebruik van een vragenlijst?

Je hebt nu de basisstof van dit thema doorgewerkt.

- Doe online de verrijksstoffen, de flitskaarten, de oefentoets en de Versterk Jezelf.
- Ga in het boek verder met de Samenhang en de Examentrainer.

Leerdoelen

- Je kunt het nut van recombinitie toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.
- Je kunt de biologische vakvaardigheden evolutionair denken en systeemdenken toepassen op het overerven van eigenschappen.

Hoogtebestendige Tibetanen

Wat is dat toch met Tibetanen? Schijnbaar met het grootste gemak en zonder zuurstofflessen beklimmen ze de allerhoogste bergen. Sinds kort weten biologen het fascinerende antwoord.

Zelfs goedgeoefende bergbeklimmers hebben er moeite mee om de hellingen van de Himalaya te beklimmen en de top te bereiken. Op duizenden meters boven de zeespiegel is immers veel minder zuurstof, waardoor ze al snel naar zuurstofflessen grijpen. De Tibetaanse Sherpa's, die werken als gidsen en dragers van de klimmers, hebben veel minder last van een zuurstoftekort. Dit komt doordat Tibetanen een bijzonder allel van het EPAS1-gen hebben dat de productie van hemoglobine in het lichaam reguleert. De kleurstof hemoglobine in rode bloedcellen speelt een belangrijke rol bij het zuurstoftransport van het bloed.

Het menselijk lichaam past zich aan door meer rode bloedcellen aan te maken in omstandigheden waarin weinig zuurstof is. Maar te veel rode bloedcellen in het bloed is niet gezond. Het bloed wordt hierdoor stroperig en cellen kunnen samenklonteren waardoor verstopping (trombose) van de bloedvaten kan ontstaan. Bij Tibetanen zorgt het bijzondere allel van het EPAS1-gen ervoor dat hemoglobine zuurstof efficiënter bindt, zodat er niet zoveel rode bloedcellen worden aangemaakt.

Blijft de grote vraag: waar komt dit allel vandaan? In de zoektocht naar de oorsprong van dit allel reisden onderzoekers af naar het gebied waar Tibetanen en Han-Chinezen leven. De laatste groep leeft in de laaglanden. De onderzoekers namen van beide bevolkingsgroepen DNA af om zo de code van het bijzondere allel te ontrafelen.

Onderzoekers vonden bij Tibetanen en een klein deel van de Han-Chinezen een uniek allel van het EPAS1-gen dat nog bij geen enkel ander mens op aarde is aangetroffen. Na een zoektocht in de database van uitgestorven menssoorten vonden ze een grote gelijkenis van dit allel in het DNA van een uitgestorven mensachtige (de Denisovanen). Het vermoeden bestaat nu dat zo'n veertigduizend jaar geleden in dit gebied deze uitgestorven menssoort (*Homo denisova*) en de

► **Afb. 1** Sherpa's lijken zonder moeite naar boven te klimmen.



moderne mens (*Homo sapiens*) die veertigduizend jaar geleden vanuit Afrika naar Europa kwam, geslachtsgemeenschap met elkaar hadden. Daardoor vond er uitwisseling van genen plaats, waaronder ook het allel van het EPAS1-gen. Het allel had ongeveer achtduizend jaar nodig om zich op grote schaal te verspreiden onder de Tibetanen. Op de evolutionaire tijdschaal is dit een zeer korte periode. Ongeveer vierduizend jaar geleden splitste deze populatie mensen zich in twee groepen: de Tibetanen en de Han-Chinezen.

opdrachten

- 1

Neem de tabel over en vul de begrippen in bij het juiste organisatie-niveau. Kies uit: *bergbeklimmers* – *bloedvaten* – *Denisovanen* – *DNA* – *Han-Chinezen* – *hart* – *hemoglobine* – *laaglanden* – *moderne mens* – *rode bloedcel* – *Tibetanen* – *zuurstof*.

Organisatieniveau	Begrip
Biosfeer	
Ecosysteem	
Populatie	
Organisme	
Orgaan	
Cel	
Molecuul	
- 2

Waardoor kunnen verstoppingen in bloedvaten leiden tot hartproblemen?
- 3

a

Waardoor is het percentage Tibetanen dat het EPAS1-gen heeft hoger dan bij Han-Chinezen?

b

Ongeveer 87% van de Tibetanen heeft de variatie van het EPAS1-gen tegenover 9% van de Han-Chinezen.
Wat is de kans dat twee Tibetaanse ouders beiden het denisova-allel hebben?

c

Wat is de kans dat twee Han-Chinezen het denisova-allel *niet* hebben?

d

Twee Tibetanen die beiden heterozygoot zijn voor het denisova-allel, krijgen een kind.
Hoe groot is de kans dat het eerste kind van de twee Tibetanen *niet* efficiënter zuurstof kan binden op grote hoogtes? Ga ervan uit dat het denisova-allel codominant is.
- 4

a

Het kan duizenden jaren duren, voordat een eigenschap is veranderd.
Leg uit dat geslachtsgemeenschap van de moderne mens met de denisova-mens sneller tot aanpassing leidde.

b

De Neanderthaler is net als de *Homo denisova* een uitgestorven menssoort. Toch zijn er stukjes van hun DNA bewaard gebleven doordat deze mens-achtigen zo af en toe geslachtsgemeenschap hadden met de moderne mens.
Een wetenschapper noemde aan de hand hiervan de huidige mensen bastaarden. Leg dit uit.
- 5

Het bijzondere EPAS1-allel wordt door sommigen ook wel het ‘super atleet allel’ genoemd. Leg dit uit.

practicumopdracht 1

MATERIAAL

- computer met internet

Practica

Digitale kruisingen met bananenvliegen

» BASISSTOF 3

In dit practicum onderzoek je hoe de vleugelvorm, een kenmerk op een autosoom, overerft bij bananenvliegen.

INLEIDING

Mendel onderzocht hoe eigenschappen overerven door erwten te kruisen. Het duurt lang voordat je genoeg nakomelingen hebt om conclusies te kunnen trekken. Bananenvliegjes (fruitvliegjes) planten zich sneller voort en zijn daardoor goede proeforganismen. Toch kosten kruisingen nog veel tijd en proefdieren. Om die reden doe je deze practicumopdracht virtueel.

ONDERZOEKSVRAAG

Hoe erft de vleugelvorm (recht of gekruld) over bij bananenvliegjes?

HYPOTHESE

Formuleer bij elke monohybride kruising een hypothese en een verwachting.

METHODE

- Ga naar Bioplek en voer de virtuele practicumopdracht ‘Digitale kruisingen bij bananenvliegen’ uit.
- Voer de monohybride kruising uit met twee banenvliegjes: een wildtype vrouwtje met rechte vleugels en een mutant mannetje met gekrulde vleugels (curled).
- Stel het aantal te tellen nakomelingen in.
- Formuleer de hypothese en de verwachting van P_1 .
- Voer de P_1 -kruising uit. Noteer de resultaten van F_1 .
- Formuleer op basis van de resultaten de hypothese en verwachting van P_2 .
- Voer kruising P_2 uit tot de F_2 . Noteer de resultaten.

Om het genotype van een bananenvliegje met het fenotype wild te achterhalen, kun je een proefkruising (= testkruising) doen.

- Formuleer de hypothese en verwachting van een testkruising.
- Voer de testkruising uit. Noteer de resultaten.

RESULTAAT

Neem de volgende tabel over en noteer hierin de resultaten (aantallen).

Generatie	Wild mannetjes	Wild vrouwtjes	Curly mannetjes	Curly vrouwtjes
Kruising P_1				
F_1				
F_2				
Testkruising P_1				
F_1				

CONCLUSIE

Beantwoord de volgende vragen.

- 1** Vergelijk de resultaten met je hypothesen en verwachtingen.
Komen die uitkomsten overeen? Zo nee, wat is daarvoor de verklaring?
- 2** Wat kun je zeggen over de genotypen van het mannetje en het vrouwtje in de P_1 ?
- 3** Wat kun je zeggen over de genotypen van de bananenvliegen in de F_1 ?
- 4** Wat is de verklaring voor de resultaten van de F_2 ?

DISCUSSIE

Beantwoord de volgende vragen.

- 5** Wat is de invloed van het aantal nakomelingen dat je telt?
- 6** Als je bijvoorbeeld verwacht dat bij de nakomelingen de verhouding wild : curly 75 : 25 is, betekent dat dan dat die verwachting niet uitkomt bij een verhouding van 77 : 23? Leg je antwoord uit.

Samenvatting

LEERDOEL 1 ►► BASISSTOF 1

Je kunt omschrijven wat het fenotype en wat het genotype van een organisme is.

- Fenotype: de waarneembare eigenschappen van een individu.
- Genotype: informatie voor alle erfelijke eigenschappen van een individu.
- Een mens heeft in een lichaamcel 23 paar chromosomen ($2n$):
 - 22 paar autosomen;
 - één paar geslachtschromosomen.
 - Chromosomen die gelijk van lengte en vorm zijn, heten homologe chromosomen.
 - Een karyotype of karyogram is een rangschikking van chromosomen.

LEERDOEL 2 ►► BASISSTOF 1

Je kunt omschrijven wat DNA-sequentie en genexpressie betekenen.

- Gen: een deel van een chromosoom dat de informatie bevat voor een of meer erfelijke eigenschappen of een deel van een erfelijke eigenschap.
 - Allel: variant van een gen.
 - Een DNA-molecuul is opgebouwd uit aan elkaar gekoppelde nucleotiden.
 - Een nucleotide bestaat uit een fosfaatgroep, desoxyribose en een stikstofbase.
 - Er zijn vier verschillende stikstofbasen: adenine (A), thymine (T), cytosine (C) en guanine (G).
 - Basenparing: de stikstofbasen van de twee nucleotideketens zijn met elkaar verbonden en vormen vaste paren: A met T en C met G.
- DNA-sequentie: specifieke volgorde van de stikstofbasen.
- Genexpressie: wanneer genen worden aangezet en tot uiting komen.
- Inactivatie: genen staan uit.

LEERDOEL 3 ►► BASISSTOF 1

Je kunt uitleggen dat een fenotype tot stand komt door de combinatie van genotype en de invloed van milieufactoren.

- Het fenotype wordt bepaald door het genotype en door milieufactoren. Voorbeelden van milieufactoren zijn licht, lucht, vochtigheid, temperatuur, voeding, ziekten en opvoeding.
- Modificatie: verandering van het fenotype.
 - De informatie in de chromosomen verandert bij een modificatie niet en wordt niet doorgegeven aan nakomelingen.

LEERDOEL 4 ►► BASISSTOF 2

Je kunt uitleggen hoe het fenotype van een organisme tot stand komt en hierbij de begrippen homozygoot, heterozygoot, dominant en recessief gebruiken.

- Locus: plaats van een gen in het chromosoom.
- In lichaamscellen komen genen in paren voor.
- In geslachtscellen komen genen enkelvoudig voor.
- Homozygoot: het genenpaar voor een eigenschap bestaat uit twee gelijke allelen.
- Heterozygoot: het genenpaar voor een eigenschap bestaat uit twee ongelijke allelen.
- Dominant allel: een allel dat altijd tot uiting komt in het fenotype.
 - Individuen waarbij een dominant gen tot uiting komt in het fenotype, zijn homozygoot of heterozygoot voor deze eigenschap.
- Recessief allel: een allel dat alleen tot uiting komt in het fenotype als er geen dominant gen aanwezig is.
 - Individuen waarbij een recessief gen tot uiting komt in het fenotype, zijn homozygoot voor deze eigenschap.
- Onvolledig dominant allel: een recessief allel dat bij een heterozygoot individu een beetje tot uiting komt in het fenotype.
- Intermediair fenotype: beide allelen van een allelenpaar komen in een mengvorm tot uiting in het fenotype.
- Codominant: beide allelen komen volledig tot uiting in het fenotype.

LEERDOEL 5 ►► BASISSTOF 2

Je kunt beschrijven hoe door recombinatie nieuwe combinaties van allelen ontstaan.

- Recombinatie: door geslachtelijke voortplanting ontstaan nieuwe combinaties van allelen.
 - Recombinatie vindt plaats tijdens meiose I waarbij chromosomen van een chromosomenpaar uiteen gaan en geslachtscellen ontstaan met verschillende genotypen.
 - In de geslachtscellen kunnen 2^n verschillende genotypen voorkomen (bij de mens 2^{23}).
 - Door recombinatie ontstaat een grote genetische variatie door verscheidenheid in genotypen.
- Door genetische variatie heeft een soort een grote overlevingskans, vooral bij veranderende milieumomstandigheden.
- Genetische variatie ontstaat ook door mutaties.
 - Mutatie: verandering in erfelijke eigenschap.

LEERDOEL 6 ►► BASISSTOF 3

Je kunt van een monohybride kruising een kruisingsschema opstellen.

- Monohybride kruising: kruising waarbij wordt gelet op de overerving van één eigenschap.
 - Bij een monohybride kruising is één genenpaar betrokken.
- Het opstellen van een kruisingsschema:
 - Geef de genotypen van de ouders in een kruising weer (een dominant gen met een hoofdletter, een recessief gen met een kleine letter).
 - Bepaal welke genen de geslachtscellen van beide ouders kunnen bevatten.
 - Ga na welke mogelijkheden er bestaan voor de versmelting van een eicelkern en een zaadcelkern.
- Kruisingsschema van een monohybride kruising:

P: AA × aa
 geslachtscellen A a
 F₁ Aa
 geslachtscellen A of a A of a
 F₂

	A	a
A	AA	Aa
a	Aa	aa

- Verhouding in de F₂:
 genotypen: AA : Aa : aa = 1 : 2 : 1;
 fenotypen: fenotype waarbij het dominante gen tot uiting komt : fenotype waarbij het recessieve gen tot uiting komt = 3 : 1.

LEERDOEL 7 ►► BASISSTOF 3

Je kunt de frequentie van genotypen en fenotypen van nakomelingen bij een monohybride kruising afleiden uit een kruisingsschema of stamboom.

- P: Aa × aa.
 Verhouding in de F₁:
 - genotypen: Aa : aa = 1 : 1;
 - fenotypen: fenotype waarbij het dominante gen tot uiting komt : fenotype waarbij het recessieve gen tot uiting komt = 1 : 1.
- P: Aa × Aa.
 Verhouding in de F₁:
 - genotypen: AA : Aa : aa = 1 : 2 : 1;
 - fenotypen: fenotype waarbij het dominante gen tot uiting komt : fenotype waarbij het recessieve gen tot uiting komt = 3 : 1.
- Testkruising: een kruising waarbij je kunt afleiden of een individu homozygoot of heterozygoot is voor een bepaalde eigenschap, wanneer je dit individu kruist met een homozygoot recessief individu.
 - AA × aa of Aa × aa.

- Alleen bij een heterozygoot individu komt het recessieve allel tot uiting in de F₁.
- Uit een stamboom kun je informatie halen van individuen.
 - Als twee ouders met gelijk fenotype een nakomeling krijgen met een afwijkend fenotype, zijn beide ouders heterozygoot voor deze eigenschap (Aa).
 - De nakomeling is dan homozygoot recessief voor deze eigenschap (aa).

LEERDOEL 8 ►► BASISSTOF 4

Je kunt beschrijven op welke wijze de geslachtschromosomen het geslacht van een mens bepalen.

- Een mens heeft in een geslachtscel 23 chromosomen (n):
 - 22 autosomen;
 - één geslachtschromosoom.
- Bij een man:
 - in een lichaamscel twee ongelijke geslachtschromosomen (XY);
 - in een zaadcel een X-chromosoom of een Y-chromosoom;
 - karyogram [46, XY].
- Bij een vrouw:
 - in een lichaamscel twee gelijke geslachtschromosomen (XX);
 - in een eicel een X-chromosoom;
 - karyogram [46, XX].
- Het geslacht van een individu komt vast te liggen op het moment van bevruchting. Bepalend hiervoor is het geslachtschromosoom in de zaadcel.
 - Een meisje ontstaat als een eicel (met een X-chromosoom) wordt bevrucht door een zaadcel met een X-chromosoom.
 - Een jongen ontstaat als een eicel (met een X-chromosoom) wordt bevrucht door een zaadcel met een Y-chromosoom.

LEERDOEL 9 ►► BASISSTOF 4

Je kunt een kruisingsschema maken voor X-chromosomale overerving en hieruit of uit stambomen de frequentie van genotypen en fenotypen van nakomelingen afleiden.

- Bij X-chromosomale overerving liggen de genen voor deze eigenschap in de geslachtschromosomen.
 - De X-chromosomen bevatten elk een gen.
 - De Y-chromosomen bevatten geen gen.
- X-chromosomale genen worden weergegeven als X^A of X^a.
 - Een vrouw kan als genotype X^AX^A, X^AX^a of X^aX^a hebben.
 - Een man kan als genotype X^AY of X^aY hebben.
- Een vrouw die heterozygoot is voor een X-chromosomaal gen, is een draagster.

LEERDOEL 10 ►► BASISSTOF 5

Je kunt kruisingsschema's maken voor dihybride kruisingen met onafhankelijke overerving. Uit deze kruisingen of uit stambomen kun je de frequentie van genotypen en fenotypen van nakomelingen afleiden.

- Dihybride kruising: kruising waarbij wordt gelet op de overerving van twee eigenschappen.
 - Bij een dihybride kruising zijn twee genenparen betrokken.
 - Onafhankelijke overerving: de genenparen liggen in verschillende chromosomenparen.
- Het opstellen van een kruisingsschema:
 - Geef de genotypen van de ouders in een kruising weer. Noteer de twee allelen van een genenpaar naast elkaar.
 - Bepaal welke allelen de geslachtscellen van beide ouders kunnen bevatten.
 - Ga na welke mogelijkheden er bestaan voor de versmelting van een eicelkern en een zaadcelkern.

• Kruisingsschema van een dihybride kruising met onafhankelijke overerving:

P	AABB	×	aabb
geslachtscellen	AB		ab
F ₁	AaBb		
	AaBb	×	AaBb
geslachtscellen	AB of Ab of aB of ab		AB of Ab of aB of ab
F ₂			

	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
Ab	AABb	Aabb	AaBb	Aabb
aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

- Verhouding van fenotypen in de F₂ is: 9 : 3 : 3 : 1.
9: fenotype waarbij beide dominante allelen tot uiting komen;
3: fenotype waarbij een dominant en een recessief allel tot uiting komen;
3: fenotype waarbij een recessief en een dominant allel tot uiting komen;
1: fenotype waarbij beide recessieve allelen tot uiting komen.
- Berekenen van de kans op een nakomeling met een bepaald genotype of fenotype:
 - Bepaal voor een van de eigenschappen de kans op een nakomeling met het gewenste genotype of fenotype (zoals bij monohybride kruisingen).
 - Bepaal voor de andere eigenschap de kans op een nakomeling met het gewenste genotype of fenotype.
 - Vermenigvuldig beide kansen met elkaar.

LEERDOEL 11 ►► BASISSTOF 6

Je kunt kruisingsschema's maken voor onafhankelijke overerving van multiële allelen, letale factoren en gekoppelde genen en hieruit of uit stambomen de frequentie van genotypen en fenotypen van nakomelingen afleiden.

- Multiële allelen: voor één erfelijke eigenschap bestaan drie of meer allelen, bijv. bij bloedgroepen van een mens: I^A, I^B en i.
 - I^AI^A of I^Ai: bloedgroep A;
 - I^BI^B of I^Bi: bloedgroep B;
 - I^AI^B: bloedgroep AB;
 - ii: bloedgroep o.
- Letale factor: een allel dat in homozygote toestand geen levensvatbaar individu oplevert.
 - Als twee geslachtscellen versmelten die dezelfde letale factor bezitten, wordt een deel van de verwachte nakomelingschap niet geboren.
- Gekoppelde overerving: twee genenparen liggen in hetzelfde chromosomenpaar (gekoppelde genen).
- In een kruisingsvraagstuk geef je de koppeling als volgt aan:
 - het genotype van een homozygoot dominant individu: $\frac{GN}{GN}$
 - het genotype van een homozygoot recessief individu: $\frac{gn}{gn}$
- De koppeling van genen kan worden verbroken door crossing-over.

LEERDOEL 12 ►► BASISSTOF 6

Je kunt verklaren dat mitochondriale overerving kan leiden tot een andere overerving dan volgens de wetten van Mendel.

- Mitochondriën bevatten een klein, ringvormig DNA met een klein aantal genen.
- Mitochondriaal DNA erft alleen over via eicellen.

LEERDOEL 13 ►► BASISSTOF 7

Je kunt het doel van tweelingonderzoek beschrijven.

- Door tweelingonderzoek kun je meer zicht krijgen op welke invloed het genotype heeft en welke invloed milieufactoren hebben op het fenotype.
 - De individuen van een eeneiige tweeling hebben hetzelfde genotype. Individuen van een twee-eiige tweeling hebben verschillende genotypen.
 - Bij een eeneiige tweeling (die gescheiden opgroeit) kan worden onderzocht welke invloed milieu-factoren en genotype hebben op het fenotype.

LEERDOEL 14 ►► BASISSTOF 7

Je kunt verklaren dat epigenetica kan leiden tot een ander overervingspatroon dan volgens de wetten van Mendel.

- Epigenetica bestudeert het mechanisme dat allelen aan- en uitzet en de invloed van milieufactoren.
 - Deze wijzigingen in de genexpressie zijn omkeerbaar, maar soms stabiel en erfelijk.
 - Tweelingonderzoek kan bijdragen aan de nature-nurture-discussie.

COMPETENTIES/VAARDIGHEDEN

Je hebt de volgende vaardigheden geoefend:

- doelgericht zoeken, selecteren en verwerken van informatie;
- analyseren welke rol genetica heeft in natuurwetenschappelijk onderzoek, beroepen en de dagelijkse praktijk;
- toepassen van verschillende fasen van natuurwetenschappelijk onderzoek;
- uitvoeren van een natuurwetenschappelijk onderzoek;
- evalueren van een natuurwetenschappelijk onderzoek;
- geven van een beargumenteerde mening;
- verklaren van overerving van eigenschappen op het niveau van organismen en populaties met behulp van evolutiemechanismen (evolutionair denken);
- met elkaar in verband brengen van genetica op verschillende organisatieniveaus (systeemdenken).

Examentrainer

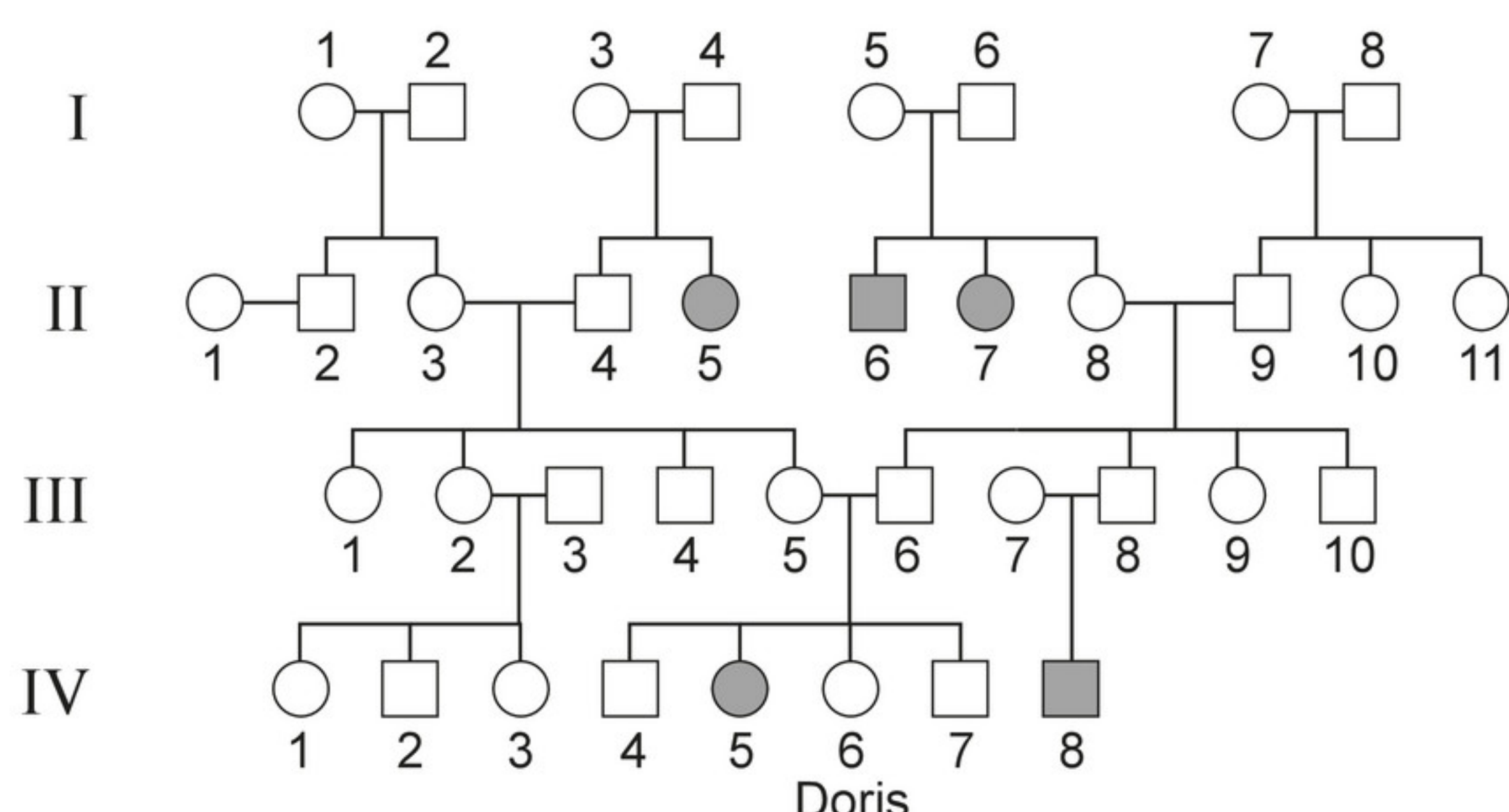
TESTEN OP SIKKELCELZIEKTE

Naar: examen vwo 2015-1, vraag 30 en 31.

Sikkelcelziekte is een aandoening van de rode bloedcellen. Het gen voor de ziekte erft autosomaal recessief over. In Nederland komt sikkelcelziekte vooral voor bij mensen afkomstig van de Antillen en uit Suriname. Aanstane ouders kunnen zich laten testen op dragerschap.

In de familie van Doris komt sikkelcelziekte voor. De stamboom van haar familie is weergegeven in afbeelding 1. Doris heeft de ziekte niet, maar het lijkt haar goed mogelijk dat ze drager is.

▼ Afb. 1 Stamboom van de familie van Doris.



Legenda:

- en □ = heeft geen sikkelcelziekte of is drager
● en ■ = heeft sikkelcelziekte

1p 1 Hoe is uit de stamboom af te leiden dat het gen voor sikkelcelziekte niet in het X-chromosoom ligt? In de stamboom is Doris aangegeven bij IV-6.

2p 2 Wat is op basis van de in de stamboom getoonde gegevens de kans, afgerond op hele procenten, dat Doris drager is van het allel voor sikkelcelziekte?

A 14%
B 25%
C 33%
D 67%
E 75%

ONDERDOMPELGEN MAAKT RIJSTRASSEN 'WATERPROOF'

Naar: examen vwo 2014-1, vraag 1 en 5.

Het is maar een simpel gen, maar wel één dat bij miljoenen mensen honger kan voorkomen. Het onderdompelen zorgt ervoor dat rijst langdurige overstromingen kan doorstaan.

Rijst is een semi-aquatische plantensoort maar blijkt bijna even gevoelig voor onderdompeling als veel landplantensoorten. Plantenveredelaar David Mackill is erin geslaagd om uit een laag productief Indiaas rijstras het onderdompelen Sub1A in te kruisen in veel gebruikte commerciële rijstrassen.

Het op een klassieke manier inkruisen van een gen in een plant verschilt van de moderne manier om met behulp van genetische modificatie een transgene plant te produceren.

- 3p 3 Beschrijf in drie stappen het op klassieke wijze inkruisen van het onderdompelen in rijstplanten. Regelmatig wordt bij plantenveredeling wél gebruikgemaakt van F_1 -hybriden. Een F_1 -hybride is de eerste generatie na kruising van twee zuivere lijnen. Deze planten hebben vaak een betere opbrengst dan de gebruikte zuivere lijnen. Dit geldt echter niet voor de F_2 -hybriden. Boeren moeten daarom elk jaar weer het F_1 -hybridezaad bij de zaadhandelaren aanschaffen.
- 1p 4 Verklaar waardoor de opbrengst lager kan zijn als de boer het zaad, gewonnen uit zijn F_1 -hybrideplanten, opnieuw uitzaait en het jaar daarop de F_2 -hybriden gaat oogsten.

HLA-MATCH

Naar: examen vwo 2009-1, vraag 9 en 10.

Gemiddeld wordt er in Nederland elke dag een nier getransplanteerd. Voordat zo'n operatie plaatsvindt, is er al een lange weg bewandeld, waarbij tests moeten uitwijzen of de nieren van de donor en ontvanger wel voldoende overeenkomen (matchen). Allereerst kijkt men of de bloedgroepen een goede match vormen.

Behalve een controle op overeenkomstige bloedgroepen wordt voor een transplantatie ook een HLA-match gedaan. HLA staat voor human leukocyte antigens. Deze eiwitten, aanwezig op leukocyten, moeten bij donor en acceptor zo veel mogelijk overeenkomen. Bij een niertransplantatie zijn drie HLA-groepen belangrijk: HLA-A, HLA-B en HLA-DR. Elke HLA-groep omvat een groot aantal verschillende HLA-eiwitten, gecodeerd door allelen van de genen A, B en DR die met een getal worden aangegeven. Van elke ouder wordt één set genen van deze eiwitten geërfd. Eén zo'n set wordt een 'haplotype' genoemd.

▼ **Afb. 2** Combinaties van haplotypen.

Familie van moederskant			Kind	Familie van vaderskant		
Opa M	Oma M	Moeder		Vader	Opa V	Oma V
A 1,8	A 3,24	A 1,3	A?	A 2,24	A 11,24	A 9,2
B 8,14	B 18,73	B 8,18	B?	B 7,51	B 4,7	B 37,51
DR 17,94	DR 10,67	DR 17,10	DR?	DR 11,80	DR 63,80	DR 63,11

2p In afbeelding 2 zijn de combinaties van haplotypen van een aantal familieleden gegeven.

5 Welke combinaties van haplotypen kan het kind van deze vader en moeder hebben? Ga ervan uit dat er hier geen recombinatie plaatsvindt.

- A A 1,24 / B 4,7 / DR 10,67
- B A 3,24 / B 7,18 / DR 10,80
- C A 1,2 / B 14,37 / DR 17,80

De ideale nierdonor is een eeneiige tweelingbroer of tweelingzus: hun genotypen zijn onderling gelijk.

Een jongetje heeft de combinatie van haplotypen A 9,24 / B 8,18 / DR 10,80. Zijn ouders zijn beiden heterozygoot voor alle drie de genen. Zijn moeder is in verwachting van een meisje.

2p 6 Hoe groot is de kans dat dit meisje, voor wat betreft de HLA-A-, HLA-B- en HLA-DR-eiwitten, dezelfde combinatie van haplotypen heeft als haar oudere broer? Ga ervan uit dat geen recombinatie plaatsvindt.

- A 1/27
- B 1/16
- C 1/9
- D 1/4

KLEURENBLINDHEID BIJ MEISJES

Naar: examen vwo 2007-2, vraag 13.

In Oslo werden schoolkinderen op het voorkomen van kleurenblindheid onderzocht. Kleurenblindheid is een door één gen veroorzaakte eigenschap en is recessief X-chromosomaal. Op grond van de frequentie van kleurenblindheid bij de jongens kan het aantal kleurenblinde meisjes in de onderzoeksgroep worden voorspeld.

Het aantal kleurenblinde meisjes bleek significant lager te zijn dan verwacht. Een hypothese die een verklaring geeft voor het verschil tussen het aantal kleurenblinde meisjes dat werd verwacht en het aantal dat werd waargenomen, luidt: 'Het allel voor kleurenblindheid leidt bij afwezigheid van het Y-chromosoom in het chromosomenpakket tot verminderde levensvatbaarheid.'

Om deze hypothese te toetsen kun je onderzoek doen naar de verhouding tussen het aantal jongens en het aantal meisjes in een grote groep gezinnen waarin kleurenblindheid voorkomt. Als in deze gezinnen het aantal dochters naar verhouding niet minder is dan in gezinnen waarin kleurenblindheid niet voorkomt, wordt de hypothese verworpen.

Gekozen kan worden uit de volgende groepen gezinnen:

- 1 gezinnen met een kleurenblinde vader;
- 2 gezinnen met een kleurenblinde moeder;
- 3 gezinnen met ten minste een zoon die kleurenblind is;
- 4 gezinnen met ten minste een dochter die kleurenblind is.

2p 7 Welke van deze gezinnen zijn geschikt als onderzoeksgroep?

- A alleen gezinnen uit groep 1 en 2
- B alleen gezinnen uit groep 1 en 3
- C alleen gezinnen uit groep 2 en 4
- D alleen gezinnen uit groep 3 en 4
- E Alle vier de groepen zijn geschikt.

Olympiade

►►  VOORRONDE BIOLOGIE OLYMPIADE 2018 HAVO, VRAAG 17

Sluit aan bij: T₁, BS₃, BS₅

Osmose

- 1** In een sloot leven pantoffeldiertjes die in hun celplasma een hogere concentratie aan opgeloste stoffen hebben dan het slootwater. Hierdoor verplaatst water zich vanuit de sloot naar het celplasma van het pantoffeldiertje. Met behulp van een kloppende vacuole wordt met een bepaalde frequentie overtollig water uit het pantoffeldiertje verwijderd. Op een dag wordt een grote hoeveelheid water uit de sloot gepompt, zodat er nog maar een klein laagje water, met daarin pantoffeldiertjes, achterblijft (situatie 1). In een andere sloot komt veel kunstmest terecht dat in het slootwater oplost (situatie 2).

Zal in situatie 1 de frequentie van de kloppende vacuole zijn veranderd of gelijk gebleven zijn? Zal in situatie 2 de frequentie van de kloppende vacuole zijn toegenomen, zijn afgenomen of gelijk gebleven zijn?

<i>Frequentie situatie 1</i>	<i>Frequentie situatie 2</i>
A veranderd	toegenomen
B veranderd	afgenomen
C veranderd	gelijk gebleven
D gelijk gebleven	toegenomen
E gelijk gebleven	afgenomen
F gelijk gebleven	gelijk gebleven

►►  VOORRONDE BIOLOGIE OLYMPIADE JUNIOR 2013 VWO, VRAAG 15-17

Sluit aan bij: T₁, BS₆

Nestgrootte

- 2** Koereigers leggen hun eieren met enige tussenpozen, maar beginnen wel meteen met broeden. Vanaf het moment van uitkomen worden de kuikens voortdurend door de ouders gevoerd.
- Onderzoekers hebben de volgende vraagstelling: Is het in verband met de energie-investering een voordeel voor de reigers om slechts één of twee jongen groot te brengen en alleen in tijden van voedselovervloed drie of vier jongen?
- Er wordt twaalf maal hetzelfde experiment uitgevoerd.
- Bij ieder experiment worden drie typen nesten gemaakt. Dat gebeurt door eieren te verwisselen, zonder dat de koereigers het merken. De drie typen zijn:
- Nest 1: alle jongen komen tegelijk uit.
- Nest 2: de jongen komen uit met tussenpozen van één tot twee dagen (zoals normaal).
- Nest 3: de jongen komen uit met drie dagen verschil.
- Er wordt voor gezorgd dat alle nesten bij aanvang van ieder experiment evenveel eieren bevatten.
- Op grond van de resultaten wordt de ouderlijke efficiëntie berekend.

De tabel toont de resultaten:

Type nest	Gemiddeld aantal uitgevlogen jongen	Hoeveelheid voedsel per dag naar het nest gebracht
1	1,90	68,3
2	2,33	53,1
3	2,29	65,1

- a In welke situatie (welk type nest) blijken de koereigers het meeste voordeel te hebben van hun inzet om voedsel te brengen? Ga er daarbij wel van uit, dat bij alle nesten op dezelfde afstand evenveel voedsel beschikbaar is. Omcirkel het juiste nummer.

Drie leerlingen beweren het volgende over de overlevingskans van de jongen van de koereigers:

Leerling 1: hoe meer eieren per nest, des te kleiner de overlevingskans.

Leerling 2: hoe meer jongen per nest, des te kleiner de overlevingskans.

Leerling 3: hoe meer voedsel naar het nest gebracht, des te groter de overlevingskans.

- b Wie heeft volgens het experiment gelijk? Omcirkel het juiste nummer of de juiste nummers. Omcirkel geen nummers als geen van drieën gelijk geeft.
- c Terug naar de onderzoeksvraag.
Wordt de hele onderzoeksvraag door het experiment beantwoord? Omcirkel het juiste antwoord. *ja / nee*

►►  VOORRONDE BIOLOGIE OLYMPIADE 2015, VRAAG 15

Sluit aan bij: T2, BS1

Celcyclus

- 3 Met een microscoop kunnen in een weefsel delende cellen worden bekeken. Het percentage cellen dat in de M-fase verkeert, noemt men de mitotische index. Hoe groter het aantal delende cellen, des te hoger is de mitotische index.

Van een bepaald weefsel bleek dat per 100 cellen er 9 cellen in de profase verkeren, 5 cellen in de metafase, 2 cellen in de anafase en 4 cellen in de telofase. De gemiddelde tijdsduur voor de celcyclus van cellen uit dit weefsel bedraagt 20 uur.

Van cellen van dit weefsel werd de gemiddelde hoeveelheid DNA per cel bepaald. Voor de cellen die in interfase verkeren, werden de volgende waarden gevonden:

- 50% bevat 10 ng DNA per cel ($1 \text{ ng} = 10^{-9} \text{ g}$);
- 20% bevat 20 ng DNA per cel;
- 30% bevat een DNA-hoeveelheid tussen de 10 ng en 20 ng per cel.

Welke tijdsduur, berekend tot op 0,1 uur nauwkeurig, heeft de G1-fase, welke de S-fase en welke de G2-fase in de celcyclus van deze cellen?

G1-fase: ...

S-fase: ...

G2-fase: ...

►►  VOORRONDE BIOLOGIE OLYMPIADE 2007, VRAAG 17

Sluit aan bij: T₂, BS₃ en BS₄

Dubbel zwanger

4 In de krant stond het volgende artikel:

Twée baby's in twee maanden

Boekarest – Een Roemeense vrouw heeft gisteren voor de tweede keer in twee maanden tijd een baby gekregen. De vrouw heeft twee baarmoeders, wat volgens artsen slechts zelden voorkomt. De 33-jarige Maricica Tescu kreeg maandag een zoon, nadat ze op 11 december ook al een jongen ter wereld bracht. Dat heeft de directeur van het geboortecentrum in de noordoostelijke stad Lasi gemeld.

Als mogelijke verklaring voor deze dubbele zwangerschap en geboorte doen Arie, Rita en Sandor de volgende beweringen:

- Arie: bij Maricica heeft in elke baarmoeder in dezelfde periode innesteling van een blastocyste plaatsgevonden. Een blastocyste wordt ook wel een blastula genoemd. De eerste zoon is een zevenmaands kindje.
- Rita: bij Maricica zijn twee eicellen bevrucht. Doordat een blastocyste zich eerder innestelde, werd de innesteling van de tweede blastocyste met acht weken vertraagd.
- Sandor: ongeveer acht weken na de innesteling van de blastocyste is bij Maricica onder invloed van het hormoon HCG ovulatie opgetreden. Na bevruchting van de eicel heeft de blastocyste zich in de tweede baarmoeder ingenesteld.

Wie heeft een juiste bewering gedaan?

- A Arie
- B Rita
- C Sandor
- D geen van drieën

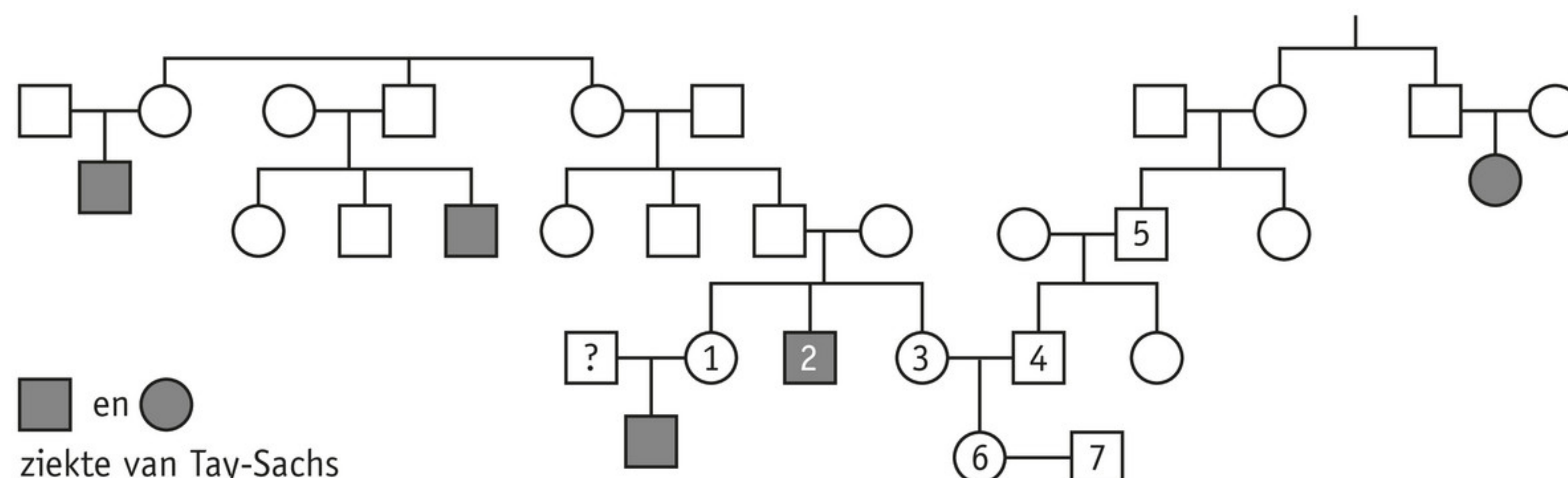
►►  VOORRONDE BIOLOGIE OLYMPIADE 2012, VRAAG 33

Sluit aan bij: T₃, BS₂ en BS₃

Ziekte van Tay-Sachs

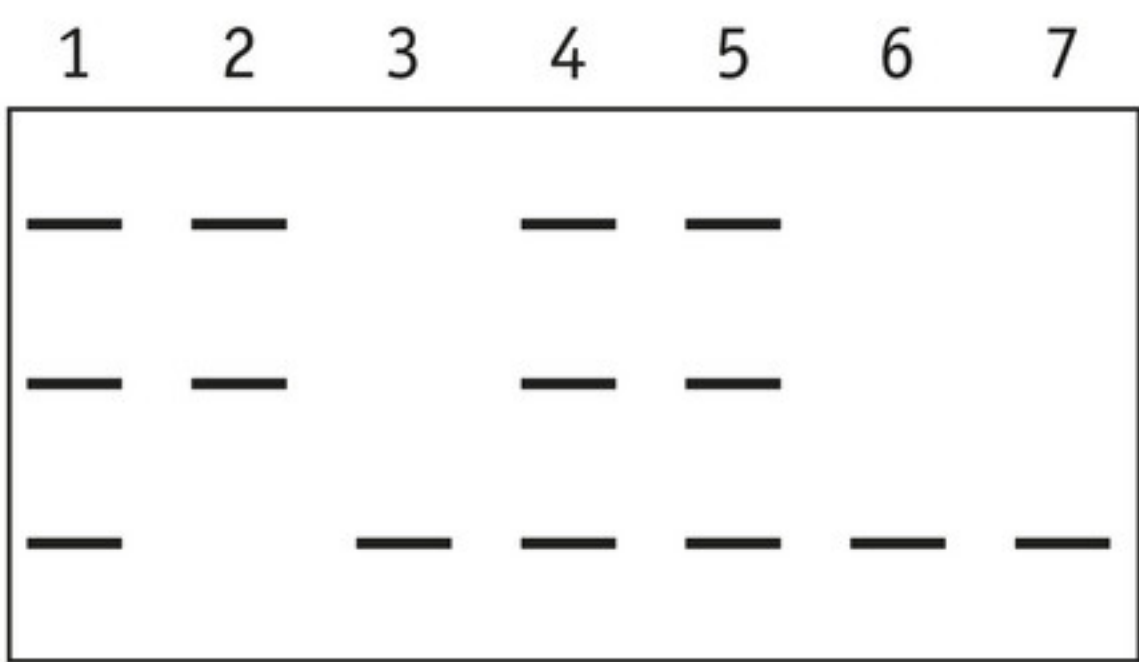
5 De ziekte van Tay-Sachs is een weinig voorkomende erfelijke ziekte die degeneratie van zenuwcellen veroorzaakt. In afbeelding 1 is een stamboom weergegeven van een familie waarbij de ziekte voorkomt.

► **Afb. 1** Stamboom van een familie.



Om te bepalen of kinderen van echtpaar 6 en 7 de ziekte kunnen krijgen, wordt een familieonderzoek gedaan. Men voert een elektroforese uit met restrictiefragmenten van het DNA van de naaste familieleden 1 tot en met 7. In afbeelding 2 zijn de resultaten van de elektroforese weergegeven.

► **Afb. 2** Resultaten van de elektroforese.



- De echtgenoot van persoon 1 werkte niet mee aan de test.
Is uit bovenstaande gegevens af te leiden met welke fingerprint (1 t/m 7) die van de echtgenoot overeenkomt?
- A Nee, dat is niet af te leiden.
 - B Ja, hij zal overeenkomen met die van persoon 2.
 - C Ja, hij zal overeenkomen met die van persoon 3, 6 en 7.
 - D Ja, hij zal overeenkomen met die van persoon 1, 4 en 5.

► VOORRONDE BIOLOGIE OLYMPIADE JUNIOR 2015 HAVO, VRAAG 2
Sluit aan bij: T3, BS2 en BS4

Drie eigenschappen in een familie

- 6 Een familie bestaat uit Frans en José en hun drie kinderen Jos, Debbie en Fineke. Jos heeft bloedgroep A en is kleurenblind. Debbie heeft bloedgroep B en Fineke bloedgroep O. Van de kinderen heeft alleen Jos blauwe ogen. Frans heeft blauwe ogen en bloedgroep B. Geen van de ouders is kleurenblind.

Genotypenlijst			
	Geslacht en kleurenblindheid	Bloedgroep	Oogkleur
P	X ^D X ^d	I ^A i	Bb
Q	X ^d Y	I ^A i	bb
R	X ^D X ^d	I ^B i	Bb
S	X ^D X ^D	I ^B i	Bb
T	X ^D Y	I ^A i	Bb
U	X ^D X ^d	ii	Bb
V	X ^D Y	I ^B i	Bb
W	X ^D Y	I ^B i	bb

Ga voor ieder familielid na welk genotype er bij past.
Let op: het is mogelijk dat bij een familielid meer dan één genotype past. Vul achter elk familielid de juiste hoofdletter(s) uit de genotypenlijst in.

- Frans: ...
José: ...
Jos: ...
Debbie: ...
Fineke: ...

A

aangeboren afwijking 130
 actief transport 42
 adolescentie 100
 aids 106
 allel 130
 amnion 94
 amnionholte 94
 anafase 78
 anticonceptie 108
 apoptose 95
 aquaporines 38
 ATP 28
 autosomen 128

B

basenparing 129
 beschrijvend onderzoek 46
 bevruchting 81
 bindweefsel 16
 binnenste vruchtvlies 94
 biologische argumenten 79
 biologische eenheden 12
 biosfeer 12
 biseksueel 102
 bladgroenkorrels 21
 blancoproef 46
 blastula 93
 buitenste vruchtvlies 93

C

cel 12
 celcyclus 77
 celdeling 74
 celdifferentiatie 95
 celkern 21
 celkerntransplantatie 79
 celmembraan 21
 celplasma 21
 celwand 21
 centriolen 78
 centromeer 77
 centrosoom 78
 chlorofyl 21
 chloroplasten 21
 cholesterol 32
 chorion 93
 chorionholte 93
 chromatiden 77
 chromoplasten 21
 chromosomen 26, 128
 codominantie 134

coming-out 103
 concentratie 34
 concentratieverval 41
 conclusie 48
 context 11
 controlegroep 46
 cytoplasma 21
 cytoskelet 30

D

data 46
 dekweefsel 16
 diffusie 35
 diffusiesnelheid 35
 dihybride kruising 155
 diploïde cellen 81
 discussie 52
 DNA 12
 DNA-replicatie 77
 DNA-sequentie 130
 DNA-synthese 77
 dochtercellen 74
 dominante allel 133
 dood 10
 dooierzak 94
 doorlatend 36
 draagster 150
 drager 133

E

ecosysteem 12
 eikel 82
 embryo 93
 embryoblast 93
 embryonaalknop 93
 embryonale ontwikkeling 93
 embryosplitsing 79
 emergente eigenschap 13
 endocytose 43
 endoplasmatisch reticulum 26
 endosoom 43
 enzymen 10
 epigenetica 167
 erfelijke ziekte 130
 ethische argumenten 79
 exocytose 27
 experimenteergroep 46

F

fagocytose 43
 fenotype 128
 foetus 95

follikel 84
 follikelstimulerend hormoon (FSH) 87
 fosfolipiden 31
 FSH 87

G

Go-fase 77
 G1-fase 77
 G2-fase 77
 gameten 81
 gekoppelde genen 163
 gekoppelde overerving 163
 gele lichaam 90
 gen 129
 gender 103
 genderdysforie 103
 generatio spontanea 49
 genetica 135
 genetische variatie 138
 genexpressie 130
 genoom 129
 genotype 128
 geslachtelijke voortplanting 81
 geslachtscellen 81
 geslachtschromosomen 128
 geslachtshormonen 87
 golgisysteem 27
 grondplasma 21

H

haploïde cellen 81
 HCG 92
 heteroseksueel 102
 heterozygoot 133
 hiv 106
 homologe chromosomen 128
 homoseksueel 102
 homozygoot 133
 hormonale regulatie 108
 hormoonklieren 87
 humaan choriongonatropine 92
 hydrofiel 31
 hydrofoob 31
 hypertoon 39
 hypofyse 87
 hypothalamus 87
 hypothese 46
 hypothesetoetsend onderzoek 46
 hypotoon 39

I

inactivatie 130

- individu 10
 interactie 13
 intercellulaire ruimten 22
 interfase 77
 intermediair 134
 intracytoplasmatische sperma-inectie (ICSI) 111
 in-vitrofertilisatie (ivf) 111
 ionentransport 41
 isotoon 39
 ivf 111
- K**
- karyogram 128
 karyotype 128
 katalyseren 10
 kernmembraan 21
 kernplasma 26
 kernporiën 26
 kernspoel 78
 ki 111
 klievingsdelingen 93
 klonen 75
 kloon 75
 kruisingsschema 142
 kruisingsvraagstuk 141
 kunstmatige inseminatie (ki) 111
- L**
- letale factoren 162
 leukoplasten 21
 levenloos 10
 levenscyclus 10
 levensloop 10
 levensverschijnselen 10
 LH 87
 locus 133
 luteïniserend hormoon (LH) 87
 lysosomen 27
- M**
- meiose I 81
 meiose II 81
 meiose 81
 membraaneiwwitten 32
 menstruatiecyclus 89
 metafase 78
 M-fase 77
 microfilamenten 31
 microtubuli 31
 milieufactoren 130
 mitochondriaal DNA 172
- mitochondriën 28
 mitose 76
 modellen 47
 modelleren 47
 modificatie 130
 moedercel 74
 molecuul 12
 monohybride kruising 140
 morula 93
 motoreiwitten 30
 mtDNA 172
 multipele allelen 162
- N**
- nature-nurture-discussie 174
 natuurwetenschap 11
 natuurwetenschappelijk probleem 46
 nucleolus 26
 nucleotiden 129
- O**
- object 22
 oestrogenen 89
 onafhankelijke overerving 155
 onderzoeksvraag 46
 ongeslachtelijke voortplanting 74
 ontwerpend onderzoek 47
 ontwikkelen 10
 onvolledig dominant 134
 oögenese 84
 oplosmiddel 34
 orgaan 12
 organel 21
 organenstelsel 15
 organisme 12
 organismen 10
 orgasme 102
 osmose 36
 osmotische druk 37
 osmotische waarde 37
 ovaria 84
 ovulatie 84
- P**
- paren 128
 passief transport 41
 permeabel 36
 placenta 94
 plasmagroei 76
 plasmolyse 40
 plastiden 21
 poollichaampje 84
- populatie 12
 porie-eiwitten 41
 ppm 34
 preparaat 22
 profase 78
 progesteron 90
 prometafase 78
 puberteit 100
- R**
- receptoreiwitten 32
 recessieve allel 133
 recombinatie 137
 reductiedeling 81
 resultaten 48
 ribosomen 26
- S**
- scanning elektronenmicroscop 24
 secretie 27
 seksualiteit 102
 seksueel overdraagbare
 aandoeningen 106
 seksuele opwinding 102
 selectief permeabel 36
 semipermeabel 36
 S-fase 77
 somatische cellen 81
 soort 10
 spermatogenese 82
 spierweefsel 16
 spiraliseren 76
 stamboom 146
 stamcellen 97
 steekproef 47
 stofwisseling 10
 systeem aarde 12
- T**
- telofase 78
 testes 82
 testkruising 145
 testosteron 88
 theorie 49
 transgender 103
 transmissie-elektronenmicroscop 24
 transporteiwitten 42
 trekdraden 78
 trofoblast 93
 turgescient 39
 turgor 39
 tussencelstof 16

V

vacuole	21
vacuolemembraan	21
verslag	51
verwachting	48
voedingsvacuole	43
voorbehoedmiddelen	108
vruchtwater	94

W

weefsel	16
werkplan	51

X

X-chromosomaal	150
X-chromosoom	149

Y

Y-chromosoom	149
--------------------	-----

Z

zaadcel	82
zenuwweefsel	16
zygote	93

AUTEURS

Deze geheel vernieuwde zesde editie bouwt voort op de vierde en vijfde editie van BVJ geschreven door: Arteunis Bos, Onno Kalverda, Ruud Passier, Gerard Smits, Ben Waas, René Westra

REDACTIE

Ivonne Hermens, Grada Hooijer, Avyola van Pinxten

FOTO'S EN ILLUSTRATIES

123RF: thema 1: *samenhang 2*; thema 2: *ontdekken lb, ontdekken 1, 32, samenhang lo, samenhang 1*; thema 3: *ontdekken lb, ontdekken 1.2, 7.3, 10, 15, 35.1, 35.2, 54*; ANP Photo, Rijswijk: thema 1: *ontdekken lb, ontdekken 1*; thema 2: *13, 25, 48*; Science Photo Library / ANP Photo, Rijswijk: thema 1: *7 rm, 8.2, 22.1, 22.2, 25.1, 26, 28.1, 29.1, 33, 34, 35.1, 49*; thema 2: *1.1, 28 r, 36*; Museum Boerhaave, Leiden: thema 1: *65*; Corbis: thema 3: *20 r, 51, 67.2*; Daimler: thema 1: *13.2*; Dreamstime: thema 3: *ontdekken 1.1, ontdekken 1.3*; Erik Eshuis Infographics, Groningen: thema 1: *14.2, 23 r, 24, 41, 42, 59*; thema 2: *3, 50, 53, practica 1*; thema 3: *ontdekken 2, 1, 4, 5, 6, 9, 13, 14, 33, 34, 37, 45, 48, 50 b*; olympiade: *1, 2*; Examen VWO: thema 2: *examentrainer 1, examentrainer 2*; thema 3: *examentrainer 1*; Pilot Examen VWO: thema 1: *examentrainer 1, examentrainer 2*; Getty Images: thema 1: *7 lm, r, 39, practica 6*; thema 2: *1.2, 12*; Helpwanted.nl: thema 2: *47*; Imageselect, Wassenaar: thema 1: *7 l*; thema 3: *8.1*; iStockphoto: thema 3: *7.2, 8.3*; Onno Kalverda / Educatieve Content: thema 1: *practica 5, practica 7*; Bart Knols, In2Care BV, Wageningen: thema 1: *ontdekken 3*; Medical Visuals / Maartje Kunen, Arnhem: thema 2: *14, 15, 20, 24*; thema 3: *16, 17*; Merlijn Michon Fotografie, Amsterdam: thema 1: *12, 17, practica 10*; Nature Communications DOI: *10.1038/ncomms9179*: thema 1: *38*; Hans Rawee, Amersfoort: thema 3: *44*; Henk Schuurmans, Heusden: thema 1: *practica 3.1,*

ONTWERP

Uitgeverij Malmberg

OPMAAK

Pointer grafische vormgeving, Geldrop

BEELDVERWERVING

B en U International Picture Service, Amsterdam

practica 3.2, practica 3.3; Science Museum, London. Wellcome Images: thema 1: *15*; Shutterstock: thema 1: *4, 9.1, 9.2, 10, 13.1, 21, 23 l, samenhang 1*; thema 2: *16, 28, l, 39, 42, 43, 44, 45, 46, 55*; thema 3: *3, 6.1, 6.2, 6.3, 7.1, 8.2, 9, 11, 12.1, 12.2, 12.3, 18, 19, 20 l, 21, 22, 34, 39.1, 39.2, 41, 43, 47, 52, samenhang 1*; Bas Teunis Zoölogical Illustrations, Eindhoven: thema 3: *42*; thema 4: *51, 71*; Henk van der Vrande: thema 1: *14.1, 19, 20, 29.2, 30, 31, 32, 35.2, 35.3, 37, 46, 47.1, 47.2, 47.3, 50.1, 50.2, 50.3, 52.1, 52.2, 53, 54.1, 54.2, 54.3, 54.4, 58, 64, practica 4, practica 8, practica 9*; thema 2: *5, 6, 7, 8, 9, 19, 29, 33, 40, 51*

BEELDEN OMSLAG EN THEMA OPENINGEN

omslag: Orchidee, Getty Images

thema 1: Hydrobioloog, Hollandse Hoogte

thema 2: Stel op fiets, Getty Images

thema 3: Kas met ledverlichting, Corbis

De uitgever heeft getracht met alle rechthebbenden op beelden en tekst in contact te treden. Mogelijk is dit niet in alle gevallen gelukt. Degene die meent op beelden en/of tekst recht te kunnen doen gelden, wordt verzocht in contact te treden met Uitgeverij Malmberg te 's-Hertogenbosch.

ISBN 978 94 020 7769 8

Release 6.1, eerste oplage

MALMBERG

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16b Auteurswet 1912 j° het Besluit van 20 juni 1974, St.b. 351, zoals gewijzigd bij het Besluit van

23 augustus 1985, St.b. 471, en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (Postbus 3051, 2130 KB Hoofddorp). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) dient men zich tot de uitgever te wenden.

© Malmberg 's-Hertogenbosch



Je mag dit boek houden.
Handig als naslagwerk.



Je mag in dit boek schrijven
en aantekeningen maken.



Je hebt ook toegang tot
de online leeromgeving.

AUTEURS

Marianne Gommers

Desirée Hagens

Arthur Jansen

Miranda Jansen

André van Leijen

Hans Rawee

Theo de Rouw

EINDREDACTIE

Ilse Gmelig

Lineke Pijnappels

ISBN 978 94 020 7769 8



9 789402 077698

601742-01